

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ANA PAULA NAMIKATA DA FONTE

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE E APLICAÇÃO DE
ACABAMENTO SUPERFICIAL**

CURITIBA – PR
2016

ANA PAULA NAMIKATA DA FONTE

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA A
PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE E APLICAÇÃO DE
ACABAMENTO SUPERFICIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal, Área de Concentração de Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

Orientadora: Profª Drª Rosilani Trianoski
Coorientador: Prof Dr Setsuo Iwakiri
Coorientador: Prof Dr Rui André Maggi dos Anjos

CURITIBA – PR
2016

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Fonte, Ana Paula Namikata da

Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial / Ana Paula Namikata da Fonte. – Curitiba, 2016.

186 f. : il.

Orientador: Prof.^a Dr.^a Rosilani Trianoski

Coorientadores: Prof. Dr. Setsuo Iwakiri

Prof. Dr. Rui André Maggi dos Anjos

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 02/09/2016.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Química. 2. Madeira - Qualidade. 3. Painéis de madeira. 4. Teses. I. Trianoski, Rosilani. II. Iwakiri, Setsuo. III. Anjos, Rui André Maggi dos. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.813

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de ANA PAULA NAMIKATA DA FONTE, intitulada: "**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COLADOS LATERALMENTE E APLICAÇÃO DE ACABAMENTO SUPERFICIAL**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação.


Curitiba, 02 de Setembro de 2016.



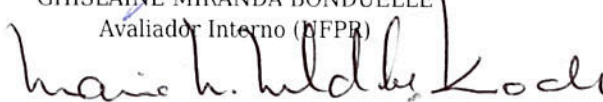
ROSILANI TRIANOSKI
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)



ALAN SULATO DE ANDRADE
Avaliador Externo (UFPR)



GHISLAINE MIRANDA BONDUELLE
Avaliador Interno (UFPR)



MARINA MIEKO NISHIDATE KUMODE
Avaliador Externo (PUC/PR)

Dedico,

Aos meus pais, amigos e professores, tão importantes ao meu desenvolvimento profissional e pessoal.

Sr. Gilberto, Sr. Ademir, Sr. Vitor, Fabio Gameiro que me auxiliaram na parte experimental, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Laboratório De Química Da Madeira que me auxiliou com as análises químicas.

A CAPES, a qual tornou possível realizar este sonho.

Aos colegas de laboratório: pela ajuda nos experimentos, pelos conselhos, conversas e momentos agradáveis.

RESUMO

As florestas plantadas surgiram no Brasil como uma alternativa a demanda de madeira para o setor madeireiro e uma alternativa à utilização de florestas nativas. Em 2014, o Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, dos quais, 72% são representados por plantios do gênero *Eucalyptus*, 20,7% do gênero *Pinus* e 7,3% por outros gêneros e espécies. Além destas, outras espécies exóticas têm sido utilizadas em plantios experimentais e comerciais, buscando produzir madeira com características físicas, químicas e mecânicas adequadas aos mais diversos usos, bem como, com aspecto estético desejado. A introdução dessas espécies pouco conhecidas traz a necessidade de realizar estudos sobre a qualidade tecnológica de sua madeira. Neste contexto, a *Cryptomeria japonica* mesmo não sendo uma espécie difundida se apresenta como alternativa promissora. Sua madeira apresenta odor agradável, sendo que na região do alburno é clara e no cerne apresenta coloração castanha, com densidade baixa a média densidade e boa trabalhabilidade. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a aplicação na indústria moveleira, especificamente em painéis EGP e móveis de madeira maciça. A madeira utilizada no presente estudo possui 35 anos de idade e é proveniente de plantios experimentais localizados na cidade de Rio Negro – PR. A avaliação da utilização dessa espécie foi realizada em várias fases, originando a presente dissertação, a qual é composta de 6 capítulos, sendo: Capítulo 1: Visão geral do trabalho; Capítulo 2: *Cryptomeria japonica*: histórico e características; Capítulo 3: Caracterização química e física da madeira de *Cryptomeria japonica*; Capítulo 4: Usinagem: aplainamento e lixamento da madeira de *Cryptomeria japonica*; Capítulo 5: Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis de colagem lateral (EGP); Capítulo 6: Avaliação do acabamento superficial da madeira de *Cryptomeria japonica*. De maneira geral, os resultados das análises indicaram que a *Cryptomeria japonica* possui potencial técnico de utilização podendo ser empregada principalmente na indústria de móveis com restrições.

Palavras chave: Propriedades físico-químicas; usinagem, painéis de colagem lateral, acabamento superficial.

ABSTRACT

Planted forests have emerged in Brazil as an alternative to wood demand for the timber industry and an option to cut down native forests. In 2014, Brazil totaled 7.74 million hectares of planted forests. Of which, 72% are represented by *Eucalyptus* plantations, 20.7% for *Pinus* and 7.3% for other species. Apart from these, other exotic species have been used in experimental and commercial plantations, seeking to produce wood with physical, chemical and mechanical characteristics suitable for various uses, as well as with desired aesthetic appearance. The introduction of these little known species brings the need for studies on the technological quality of its wood. In this context, *Cryptomeria japonica* is presented to a promising species, however, has no use so widespread. Its wood in the sapwood is clear, the heart has brown and pleasant odor color. It is a wooden mild to medium density and good workability. In this context, the objective of this study is to assess the technical potential of wood *Cryptomeria japonica*. The wood of this study has about 35 years old and comes from experimental plantations located in the city of Rio Negro. The evaluation of the quality of the wood of this kind was carried out in several stages, resulting in the present work, which is composed of six chapters: Chapter 1: Overview of work; Chapter 2: *Cryptomeria japonica*: history and characteristics; Chapter 3: Chemical and physical characterization of *Cryptomeria japonica*; Chapter 4: Machining: planing and sanding of *Cryptomeria japonica*; Chapter 5 Utilization of *Cryptomeria japonica* of wood for the production of edge gluing panels (EGP); Chapter 6: Implementation and evaluation of the finish in *Cryptomeria japonica*. In general, the results of the analysis indicated that the technical *Cryptomeria japonica* have potential use may be used in the furniture industry, mainly.

Keywords: physicochemical properties; machining, Edge Glued Panels, surface finish.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 28 |
| FIGURA 2 – ARVORE MILENAR DE <i>Cryptomeria japonica</i> OU JOMON SUGI..... | 29 |
| FIGURA 3 – MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 30 |
| FIGURA 4 – UTILIZAÇÕES DA <i>Cryptomeria japonica</i> | 33 |
| FIGURA 5 - TÁBUAS UTILIZADAS NO ESTUDO DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 44 |
| FIGURA 6 - EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DE <i>Cryptomeria japonica</i> PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA..... | 45 |
| FIGURA 7 - ETAPAS DA PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS..... | 46 |
| FIGURA 8 - ETAPAS DA ANÁLISE QUÍMICA..... | 47 |
| FIGURA 9 - ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 48 |
| FIGURA 10 - VALORES NORMATIVOS DE UM APLAINAMENTO..... | 66 |
| FIGURA 11 - PEÇAS DE <i>Cryptomeria japonica</i> DURANTE E APÓS O LIXAMENTO..... | 77 |
| FIGURA 12 - ETAPAS DA PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 77 |
| FIGURA 13 - DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL..... | 78 |
| FIGURA 14 - COMPARAÇÃO DE QUALIDADE DA SUPERFÍCIE SEM PREPARAÇÃO COM A SUPERFÍCIE APLAINADA E LIXADA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 83 |
| FIGURA 15 - INCRUSTAÇÕES NA LIXA PROVENIENTES DE EXTRATIVOS DA <i>Cryptomeria japonica</i> | 84 |
| FIGURA 16 - LIMPEZA E APLICAÇÃO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTO SOBRE A MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 112 |
| FIGURA 17 - ENSAIO DE BRILHO, COM GLOSSMETER..... | 114 |
| FIGURA 18 - ETAPAS DO ENSAIO DE ADERÊNCIA..... | 115 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 19 - ESFERA DE AÇO UTILIZADA NO ENSAIO DE IMPACTO.... | 116 |
| FIGURA 20 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO..... | 118 |
| FIGURA 21 - REAGENTES QUÍMICOS APLICADOS SOBRE OS ACABAMENTOS..... | 119 |
| FIGURA 22 - APLICAÇÃO DOS REAGENTES SOBRE OS ACABAMENTOS..... | 119 |
| FIGURA 23 - ANÁLISE DE ADERÊNCIA DA <i>Cryptomeria japonica</i> NA LUPA 10X..... | 125 |
| FIGURA 24 - IMPRESSÕES DEIXADAS PELO IMPACTO DA ESFERA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 128 |
| FIGURA 25 - AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO BASE ÁGUA SOBRE A MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 133 |
| FIGURA 26 - AVALIAÇÃO VISUAL DOS ACABAMENTOS DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 134 |
| FIGURA 27 - OBTENÇÃO DOS SARRAFOS DE MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 152 |
| FIGURA 28 - ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS ADESIVOS..... | 154 |
| FIGURA 29 - PRODUÇÃO DE EMENDAS FINGER-JOINT POR MEIO DO PROCESSO UTILIZADO NAS INDÚSTRIAS..... | 155 |
| FIGURA 30 - ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA E ENSAIO DE TRAÇÃO DA EMENDA FINGER-JOINT DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 158 |
| FIGURA 31 - AVALIAÇÃO VISUAL DAS FALHAS NA MADEIRA..... | 158 |
| FIGURA 32 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA COLAGEM LATERAL..... | 159 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|-----|
| GRÁFICO 1 – DADOS SOBRE VOLUME DE VERNIZES PRODUZIDO EM LITROS E O FATURAMENTO EM DÓLARES DO MERCADO DE TINTAS E VERNIZES DE 2015..... | 95 |
| GRÁFICO 2 - PESQUISA DE OPINIÃO SOBRE A PREFERÊNCIA DOS DIFERENTES VERNIZES PARA UTILIZAÇÃO EM MÓVEIS DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 133 |
| GRÁFICO 3 – INFLUENCIA DA GRAMATURA DA RESINA PVA D3 SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 174 |
| GRÁFICO 4 - INFLUÊNCIA DA GRAMATURA DA RESINA PVA D4 SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 176 |
| GRÁFICO 5 - INFLUÊNCIA DA GRAMATURA DA RESINA EPI SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 178 |
| GRÁFICO 6 - INFLUÊNCIA DA GRAMATURA DA RESINA MUF SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 181 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|-----|
| TABELA 1 – DIFERENÇAS QUANTITATIVAS NA ANÁLISE QUÍMICA DE CONÍFERAS E FOLHOSAS..... | 39 |
| TABELA 2 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 50 |
| TABELA 3 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 54 |
| TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 56 |
| TABELA 5 – EFEITO DA VELOCIDADE DE APLAINAMENTO SOBRE A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 80 |
| TABELA 6 - EFEITO DA GRANULOMETRIA DA LIXA SOBRE A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 82 |
| TABELA 7 - VALORES MÉDIOS DAS NOTAS DE APRECIAÇÃO PARA O APLAINAMENTO E LIXAMENTO DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO RADIAL..... | 85 |
| TABELA 8 – DADOS SOBRE O MERCADO DE TINTAS E VERNIZES EM 2015..... | 96 |
| TABELA 9 – COMPARATIVO ENTRE OS PRODUTOS TRADICIONAIS E O VERNIZ BASE ÁGUA..... | 104 |
| TABELA 10 - RESULTADOS MÉDIOS DO BRILHO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS APLICADOS SOBRE A MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 122 |
| TABELA 11 - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE A MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 124 |
| TABELA 12 - RESULTADOS MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE DESTACAMENTO DA PELÍCULA DOS ACABAMENTOS NA | 126 |

| | |
|---|---------|
| MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | |
| TABELA 13 - RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE A MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 128 |
| TABELA 14 - RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS DIFERENTES ACABAMENTO APLICADOS À MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 129 |
| TABELA 15 - RESULTADOS DA RESISTÊNCIA QUÍMICA DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 130 |
| TABELA 16 - DADOS REFERENTES À DIFICULDADE DE REMOÇÃO DAS MANCHAS DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 131 |
| TABELA 17 - DADOS DE PROPRIEDADES DOS ADESIVOS FORNECIDOS PELOS FABRICANTES..... | 149 |
| TABELA 18 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA A COLAGEM LATERAL..... | 156 |
| TABELA 19 - MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DOS SARRAFOS DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 161 |
| TABELA 20 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICO- QUÍMICAS DOS ADESIVOS..... | 162 |
| TABELA 21 - RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DAS EMENDAS FINGER-JOINT EM ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO..... | 164 |
| TABELA 22 - RESULTADOS DO EFEITO DO TRATAMENTO SOBRE A QUALIDADE DE COLAGEM LATERAL DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 166/167 |
| TABELA 23 - RESULTADOS MÉDIOS DO EFEITO DO ADESIVO SOBRE A QUALIDADE DE COLAGEM LATERAL DA MADEIRA DE <i>Cryptomeria japonica</i> | 170 |
| TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO PVA D3 EM DIFERENTES GRAMATURAS..... | 173 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 25 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO PVA D4 EM DIFERENTES GRAMATURAS..... | 175 |
| TABELA 26 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO EPI UTILIZANDO CINCO GRAMATURAS E DOIS PRÉ-TRATAMENTOS..... | 177 |
| TABELA 27 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO MUF UTILIZANDO CINCO GRAMATURAS E DOIS PRÉ-TRATAMENTOS..... | 179 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|-----|
| QUADRO 1 - TÉCNICAS E CARACTERÍSTICAS DA AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE LIXADA..... | 71 |
| QUADRO 2 - DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS NOTAS DE APRECIÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DO APLAINAMENTO E PARA O LIXAMENTO..... | 79 |
| QUADRO 3 - INFORMAÇÕES DOS FABRICANTES SOBRE A APLICAÇÃO DE SELADORES PARA O VERNIZ A BASE DE NITROCELULOSE E POLIURETANO..... | 112 |
| QUADRO 4 - INFORMAÇÕES DOS FABRICANTES SOBRE A APLICAÇÃO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTO..... | 113 |
| QUADRO 5 - CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DO ACABAMENTO DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535:2000..... | 114 |
| QUADRO 6 - DESCRIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535:2000..... | 115 |
| QUADRO 7 - GRADUAÇÃO DA ÁREA IMPACTADA PELA ESFERA METÁLICA | 116 |
| QUADRO 8 - ETAPAS DE LIMPEZA DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA QUÍMICA. | 120 |
| QUADRO 9 - CLASSIFICAÇÃO DOS ADESIVOS DE ACORDO COM SUA UTILIZAÇÃO..... | 146 |
| QUADRO 10 - PRÉ-TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DA COLAGEM DE TOPO CONFORME NORMA ASTM 5571:1995..... | 157 |
| QUADRO 11 - CONDIÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DA COLAGEM LATERAL CONFORME EN13354:2003..... | 159 |

LISTA DE EQUAÇÕES

| | |
|-----------------------------------|-----|
| EQUAÇÃO 1 – TAXA DE DESGASTE..... | 117 |
|-----------------------------------|-----|

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: ESTRUTURA DO TRABALHO

| | | |
|-------|---|----|
| 1.1 | INTRODUÇÃO..... | 20 |
| 1.2 | JUSTIFICATIVA DE PESQUISA..... | 21 |
| 1.3 | OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO..... | 21 |
| 1.4 | ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO..... | 22 |
| 1.4.1 | Capítulo 1: Visão geral do trabalho..... | 22 |
| 1.4.2 | Capítulo 2: <i>Cryptomeria japonica</i> : histórico e características..... | 22 |
| 1.4.3 | Capítulo 3: Caracterização química e física da <i>Cryptomeria japonica</i> | 22 |
| 1.4.4 | Capítulo 4: Aplainamento e lixamento da madeira de <i>Cryptomeria japonica</i> | 23 |
| 1.4.5 | Capítulo 5: Avaliação do acabamento superficial da madeira de <i>Cryptomeria japonica</i> | 24 |
| 1.4.6 | Capítulo 6: Utilização da madeira de <i>Cryptomeria japonica</i> para produção de painéis de colagem lateral (EGP)..... | 24 |
| 1.5 | REFERÊNCIAS..... | 26 |

CAPÍTULO 2: *Cryptomeria japonica*: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS

| | | |
|-------|---|----|
| 2.1 | INTRODUÇÃO..... | 27 |
| 2.2 | <i>Cryptomeria japonica</i> (L.F.) D. Don..... | 27 |
| 2.2.1 | Distribuição da <i>Cryptomeria japonica</i> | 27 |
| 2.2.2 | Propriedades madeira de <i>Cryptomeria japonica</i> | 29 |
| 2.2.3 | Indicação de utilização..... | 32 |
| 2.3 | REFERÊNCIAS | 35 |

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA E FÍSICA DA *Cryptomeria japonica*

| | | |
|-------|--|----|
| 3.1 | INTRODUÇÃO..... | 37 |
| 3.2 | OBJETIVOS..... | 38 |
| 3.2.1 | Objetivo geral..... | 38 |
| 3.2.2 | Objetivos específicos..... | 38 |
| 3.3 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 39 |
| 3.3.1 | Propriedades químicas da madeira..... | 39 |
| 3.3.2 | Propriedades físicas da madeira..... | 41 |
| 3.4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 44 |
| 3.4.1 | Material..... | 44 |
| 3.4.2 | Determinação das propriedades químicas..... | 45 |
| 3.4.3 | Determinação das propriedades físicas..... | 47 |
| 3.4.4 | Análise estatística..... | 48 |
| 3.5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 49 |
| 3.5.1 | Avaliação das propriedades químicas..... | 49 |
| 3.5.2 | Avaliação das propriedades físicas..... | 53 |
| 3.5.3 | Estudo de correlações da massa específica..... | 55 |
| 3.6 | CONCLUSÃO..... | 57 |
| 3.6 | REFERÊNCIAS..... | 58 |

CAPÍTULO 4: APLAINAMENTO E LIXAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*

| | | |
|-------|--|----|
| 4.1 | INTRODUÇÃO..... | 63 |
| 4.2 | OBJETIVOS..... | 64 |
| 4.2.1 | Objetivo geral..... | 64 |
| 4.2.2 | Objetivos específicos..... | 64 |
| 4.3 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 65 |
| 4.3.1 | Conceitos de usinagem..... | 65 |
| 4.3.2 | Aplainamento e lixamento..... | 66 |
| 4.3.3 | Rugosidade superficial da madeira..... | 69 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.3.4 | Propriedades da madeira que influenciam na usinagem..... | 71 |
| 4.3.5 | Defeitos e problemas encontrados na preparação de superfície..... | 72 |
| 4.3.6 | Qualidade de usinagem..... | 74 |
| 4.4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 75 |
| 4.4.1 | Material utilizado..... | 75 |
| 4.4.2 | Operações de usinagem e lixamento..... | 75 |
| 4.4.3 | Avaliação da qualidade superficial resultante das operações de usinagem..... | 77 |
| 4.4.4 | Análise estatística..... | 78 |
| 4.5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 79 |
| 4.5.1 | Efeito da velocidade de aplainamento sobre a rugosidade superficial..... | 79 |
| 4.5.2 | Efeito da granulometria da lixa sobre a rugosidade superficial..... | 81 |
| 4.5.3 | Avaliação por meio de notas de apreciação..... | 84 |
| 4.6 | CONCLUSÃO..... | 87 |
| 4.7 | REFERÊNCIAS | 88 |

CAPÍTULO 5: AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*

| | | |
|---------|--|-----|
| 5.1 | INTRODUÇÃO..... | 93 |
| 5.2 | OBJETIVOS..... | 94 |
| 5.2.1 | Objetivo geral..... | 94 |
| 5.2.2 | Objetivos específicos..... | 94 |
| 5.3 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 95 |
| 5.3.1 | Mercado de vernizes e acabamentos..... | 95 |
| 5.3.2 | Preparação de superfície..... | 97 |
| 5.3.3 | Técnicas de acabamentos..... | 97 |
| 5.3.4 | Produtos de acabamento..... | 98 |
| 5.3.4.1 | Ceras..... | 99 |
| 5.3.4.2 | Óleos..... | 99 |
| 5.3.4.3 | Seladores..... | 99 |
| 5.3.4.4 | Gomas-laca..... | 100 |

| | |
|--|-----|
| 5.3.4.5 <i>Stain</i> | 101 |
| 5.3.4.6 Vernizes..... | 101 |
| 5.3.4.6.1 Vernizes a base de poliuretano..... | 101 |
| 5.3.4.6.2 Vernizes a base de nitrocelulose..... | 102 |
| 5.3.4.6.3 Verniz à base d'água..... | 102 |
| 5.3.4.6.4 Verniz copal..... | 103 |
| 5.3.4.6.5 Verniz poliéster..... | 104 |
| 5.3.4.6.6 Nanoverniz UV..... | 104 |
| 5.3.5 Defeitos de acabamento..... | 104 |
| 5.3.6 A qualidade do revestimento..... | 106 |
| 5.3.7 Ensaios de avaliação superficial da madeira..... | 107 |
| 5.4 MATERIAIS E MÉTODOS..... | 110 |
| 5.4.1 Madeira e produtos utilizados..... | 110 |
| 5.4.2 Aplicação de produtos de acabamento..... | 110 |
| 5.4.3 Avaliação da qualidade do acabamento..... | 112 |
| 5.4.3.1 Brilho..... | 112 |
| 5.4.3.2 Aderência..... | 113 |
| 5.4.3.3 Impacto..... | 115 |
| 5.4.3.4 Abrasão..... | 116 |
| 5.4.3.5 Resistência química..... | 117 |
| 5.4.4 Realização de pesquisa de opinião..... | 119 |
| 5.4.5 Análise estatística..... | 119 |
| 5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 121 |
| 5.5.1 Brilho..... | 121 |
| 5.5.2 Aderência..... | 122 |
| 5.5.3 Resistência ao impacto..... | 127 |
| 5.5.4 Resistência à abrasão..... | 128 |
| 5.5.5 Resistência química..... | 129 |
| 5.5.6 Pesquisa de opinião..... | 131 |
| 5.6 CONCLUSÃO..... | 134 |
| 5.7 REFERÊNCIAS | 135 |

**CAPÍTULO 6: UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*
PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE COLAGEM LATERAL (EGP)**

| | | |
|---------|--|-----|
| 6.1 | INTRODUÇÃO..... | 141 |
| 6.2 | OBJETIVOS..... | 142 |
| 6.2.1 | Objetivo geral..... | 142 |
| 6.2.2 | Objetivos específicos..... | 142 |
| 6.3 | REVISÃO DE LITERATURA..... | 143 |
| 6.3.1 | <i>Edge Glued Panels</i> (EGP)..... | 143 |
| 6.3.2 | Propriedades da madeira que afetam a colagem..... | 144 |
| 6.3.3 | Classificação dos adesivos..... | 145 |
| 6.3.4 | Adesivos indicados para colagem lateral e de topo..... | 146 |
| 6.3.5 | Propriedades dos adesivos..... | 148 |
| 6.3.6 | Gramatura aplicada à colagem lateral..... | 149 |
| 6.4 | MATERIAIS E MÉTODOS..... | 151 |
| 6.4.1 | Material utilizado..... | 151 |
| 6.4.2 | Preparação dos sarrafos para a colagem..... | 151 |
| 6.4.3 | Determinação das propriedades físicas dos sarrafos..... | 151 |
| 6.4.4 | Propriedades dos adesivos..... | 152 |
| 6.4.5 | Colagem da emenda <i>finger-joint</i> | 153 |
| 6.4.6 | Colagem lateral..... | 153 |
| 6.4.7 | Avaliação das propriedades dos painéis..... | 155 |
| 6.4.7.1 | Avaliação da colagem das emendas <i>finger-joint</i> | 155 |
| 6.4.7.2 | Avaliação da resistência da colagem lateral..... | 156 |
| 6.4.8 | Análise estatística..... | 158 |
| 6.5 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 159 |
| 6.5.1 | Massa específica aparente dos sarrafos..... | 159 |
| 6.5.2 | Propriedades dos adesivos..... | 160 |
| 6.5.3 | Avaliação da colagem <i>finger-joint</i> | 161 |
| 6.5.4 | Avaliação da resistência da colagem lateral..... | 163 |
| 6.5.4.1 | Efeito do tratamento na colagem lateral..... | 163 |
| 6.5.4.2 | Efeito do adesivo..... | 167 |
| 6.5.4.3 | Efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral por adesivo.. | |

| | | |
|------------|--|------------|
| 6.5.4.3.1 | Efeito da gramatura do adesivo PVA D3 sobre a resistência ao cisalhamento..... | 170 |
| 6.5.4.3.2. | Efeito da gramatura do adesivo PVA D4 sobre a resistência ao cisalhamento..... | 172 |
| 6.5.4.3.3 | Efeito da gramatura do adesivo EPI sobre a resistência ao cisalhamento..... | 175 |
| 6.5.4.3.4 | Efeito da gramatura da resina MUF sobre a resistência ao cisalhamento..... | 177 |
| 6.6 | CONCLUSÃO..... | 180 |
| 6.7 | REFERÊNCIAS | 181 |
| | | |
| 7 | CONCLUSÃO GERAL..... | 186 |

INTRODUÇÃO

As florestas plantadas surgiram no Brasil como uma alternativa para a demanda de madeira para o setor madeireiro e uma alternativa à utilização de florestas nativas. Os incentivos fiscais na década de 70 motivaram ainda mais o crescimento das florestas plantadas. Em 2014, de acordo com Indústria Brasileira De Árvores – IBÁ (2015), o Brasil totalizou 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas, 1,8% a mais do que contabilizou o ano de 2013. Essa quantidade representou 1,1% de toda riqueza gerada no país, e 5,5% do Produto Interno Bruto – PIB industrial.

Segundo o IBÁ (2015) e a Associação Gaúcha de Empresas Florestais – Ageflor (2015), desses hectares plantados, 72% são representados por plantios do gênero *Eucalyptus*, 20,7% do gênero *Pinus* e 7,3% de espécies dos gêneros Acácia, Teca, *Hevea* e *Schizolobium*. Ainda de acordo com o IBÁ (2015) e o Serviço Florestal Brasileiro (SFB, 2015), a Acácia é o terceiro gênero mais cultivado no sul do Brasil, depois dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*.

Além destas, outras espécies exóticas têm sido utilizadas em plantios experimentais e comerciais, buscando produzir madeira com características físicas, químicas e mecânicas adequadas aos mais diversos usos, bem como, com aspecto estético desejado.

Neste contexto, destaca-se a *Cryptomeria japonica*, que também é uma espécie promissora mesmo sua utilização não sendo tão difundida. Normalmente é empregada para fins ornamentais, em jardins e bonsais, sendo utilizada inclusive, como árvore de Natal. Sua madeira no alburno é clara como o *Pinus*, no cerne apresenta coloração castanha e odor agradável que remete ao cedro. É uma madeira de boa qualidade, média densidade e de boa trabalhabilidade.

1.2 JUSTIFICATIVA DE PESQUISA

Independente de sua utilização, a demanda por madeira é elevada, por essa razão é importante a pesquisa e o conhecimento sobre espécies pouco conhecidas para agregar conhecimento e encontrar novas espécies potenciais para utilização.

A *Cryptomeria japonica* é uma espécie pouco difundida no Brasil para utilização na indústria madeireira, e uma madeira de excelentes propriedades físicas, químicas e mecânicas segundo a literatura internacional.

No Brasil existem alguns plantios experimentais, principalmente na região Sul do país, especificamente nos estados do Paraná e de Santa Catarina. Tem-se notícia de sua ampla utilização na medicina como agente antimicrobiano e fungicida no Japão, porém há poucos estudos publicados sobre sua aplicação industrial, sobretudo no Brasil.

O estudo sobre essa espécie é importante, pois além de servir de base para incentivo à sua utilização, com o conhecimento sobre seu desempenho na colagem, usinagem e acabamento, será possível desenvolver melhorias de processo que envolvem os trabalhos em madeira sólida, mas principalmente demonstrar o potencial de utilização dessa espécie para a indústria moveleira.

1.3 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Estabelecida à importância da utilização da *Cryptomeria japonica* como alternativa para a indústria de base florestal e admitida a escassez de informações acerca das propriedades e utilização dessa espécie, o objetivo geral desta dissertação foi avaliar a utilização da madeira *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis colados lateralmente e aplicação de acabamento superficial.

Para atingir o objetivo principal, os seguintes objetivos específicos foram propostos e estabelecidos em diversos capítulos:

- Conhecer as características de distribuição, crescimento e qualidade da madeira espécie *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar as propriedades químicas e físicas da madeira de *Cryptomeria japonica* em função da posição radial.
- Avaliar algumas operações de usinagem efetuadas sobre a superfície da madeira de *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar a viabilidade técnica da utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis de colagem lateral.
- Avaliar o comportamento de diferentes produtos de acabamento sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho de dissertação foi estruturado em 6 capítulos, sendo apresentado a seguir um breve resumo sobre cada um deles.

1.4.1 Capítulo 1 – Estrutura do trabalho

O primeiro capítulo apresenta a importância do desenvolvimento deste projeto. Nele é apresentada a necessidade do estudo da espécie, que é uma alternativa às espécies mais utilizadas atualmente, promovendo o aumento da diversidade e do volume de matéria prima à indústria de base florestal. É apresentada também, a motivação para o seu desenvolvimento, seu principal objetivo, bem como seus objetivos específicos.

1.4.2 Capítulo 2 – *Cryptomeria japonica*: histórico e características

Este capítulo envolve as informações relativas à origem e locais de ocorrência, características de crescimento e produtividade, propriedades tecnológicas e sua utilização.

1.4.3 Capítulo 3 – Caracterização química e física da madeira de *Cryptomeria japonica*

No Capítulo 3 são apresentadas as propriedades químicas e físicas da espécie estudada em função da posição radial (cerne/alburno).

A composição química exerce grande influência sobre as outras propriedades, sendo assim, é importante seu aprofundamento. A presença e quantidade de extrativos por exemplo, é um importante indicador da conformidade da madeira para diversos usos industriais.

As propriedades químicas determinadas foram: o teor de extrativos, teor de lignina, teor de materiais inorgânicos e o potencial hidrogeniônico, as quais seguiram os procedimentos recomendados pelas normas ABNT e TAPPI.

De maneira geral, ambas as posições radiais apresentaram propriedades químicas compatíveis com a literatura para a *Cryptomeria japonica*.

As propriedades físicas da madeira também tem sua importância, pois estão relacionadas à transformação industrial, bem como às variadas formas de utilização.

A determinação das propriedades massa específica e estabilidade dimensional seguiram os procedimentos preconizados pelas normas COPANT 322:2002 e 323:2002.

Os resultados obtidos indicaram que a espécie apresentou massa específica de baixa a média. Em relação à estabilidade dimensional, a *Cryptomeria japonica* foi classificada como estabilidade razoável.

1.4.4 Capítulo 4 – Análise das operações de aplainamento e lixamento da madeira de *Cryptomeria japonica*

No capítulo 4 são apresentadas as operações de usinagem: aplainamento e lixamento da madeira de *Cryptomeria japonica* em relação à posição radial.

As operações de usinagem como o aplainamento e o lixamento são extremamente importantes para a preparação da superfície da madeira antes de receber um produto de acabamento, pois as condições resultantes desses procedimentos podem influenciar negativamente na qualidade do produto final.

O objetivo desse capítulo foi avaliar as operações de aplainamento e lixamento sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*.

No que concerne ao aplainamento, foram analisadas duas velocidades de aplainamento: 6 m/min. e 12 m/min. Para o lixamento foram utilizadas sete granulometrias de lixas: 60, 80, 100, 120, 150, 220, 280.

Os resultados obtidos indicaram que a espécie apresentou melhores resultados de aplainamento para a menor velocidade de avanço, e a posição radial que apresentou a menor rugosidade foi o cerne.

Em relação ao lixamento, notou-se uma diminuição gradual da rugosidade a medida que a granulometria de lixa aumentou, dessa maneira, as melhores superfícies foram obtidas nas lixas 220 e 280.

1.4.5 Capítulo 5 – Avaliação do acabamento superficial da madeira de *Cryptomeria japonica*

No capítulo 6 são apresentadas as características dos acabamentos aplicados sobre a *Cryptomeria japonica*.

Foram utilizados quatro produtos de acabamento sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*: verniz poliuretano (PU), verniz nitrocelulósico, verniz copal e verniz base água. As diferenças entre cerne e alburno foram consideradas para algumas das propriedades.

Para a determinação das propriedades do acabamento foi utilizada a norma NBR 14535:2000, destinada a superfícies pintadas de moveis de madeira, sendo avaliada a resistência à aderência, à abrasão, à resistência química, ao impacto e a classificação do brilho do acabamento.

Para o ensaio de aderência todos os vernizes foram aprovados de acordo com a norma, e todos os vernizes foram classificados como semi-brilhantes.

O verniz PU apresentou a menor aderência, a maior taxa de desgaste, facilidade de remoção de manchas e menor resistência ao impacto.

O verniz base água apresentou a maior resistência a aderência, uma baixa taxa de desgaste, maior resistência ao impacto, e foi o mais aceito pelo aspecto visual segundo a pesquisa de opinião.

1.4.6 Capítulo 6 – Utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para produção de painéis de colagem lateral (EGP)

No capítulo 5 são estudadas a resistência ao cisalhamento das juntas coladas lateralmente e a resistência da flexão estática e da tração das ligações *finger-joint* para utilização em painéis *Edge Glued Panel* (EGP).

A colagem das emendas *finger-joint* foi realizada com adesivo PVA D4, o qual é muito utilizado pela indústria de molduras e móveis, e a norma aplicada para sua avaliação foi a ASTM 5572:2005.

Para a colagem lateral, foram utilizados quatro adesivos diferentes: Poliacetato de vinila (PVA) D3 e D4, Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI), e Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF), e cinco gramaturas: 100, 120, 140, 160 e 180 g/m². A norma utilizada para a avaliação da colagem lateral foi a norma EN 13353/13354:2003.

A colagem das emendas *finger-joint* foram aprovadas segundo a norma ASTM D-5572 e apresentaram melhores resultados à flexão no pré-tratamento a seco, e ciclo triplo para a tração.

No que tange a colagem lateral, os tratamentos que apresentaram os melhores valores foram o adesivo EPI com a gramatura de 120 g/m² e a resina MUF com gramatura 140 g/m². O adesivo que apresentou a maior resistência foi a MUF, e as melhores gramaturas de trabalho foram 140, 160 e 180 g/m², o que sugere que pode ser utilizada uma quantidade menor de adesivo nas colagens, sem contudo, prejudicar a resistência.

1.2 REFERÊNCIAS

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). **IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores**. 80 f. 2015. Relatório técnico.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Produção florestal no Brasil**. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/snif/producao-florestal/producao>>. Acesso em: 05/04/2016.

ASSOCIAÇÃO GAÚCHA DAS EMPRESAS FLORESTAIS (AGEFLOR). **Anuário Ageflor 2015 – Ano base 2014**. Disponível em: <<http://www.ageflor.com.br/noticias/biblioteca/anuario-ageflor-2015-ano-base-2014-pdf>>. Acesso em: 20/04/2016.

CAPÍTULO 2

***Cryptomeria japonica*: HISTÓRICO E CARACTERÍSTICAS**

2.1 INTRODUÇÃO

Antes da década de 70, no Brasil, as florestas nativas eram derrubadas indiscriminadamente, exploradas sem a conscientização ambiental, sem o pensamento de preservar a fauna e a flora sem as atitudes sustentáveis.

Após esta década, houve muitos incentivos fiscais aos plantios de florestas. Algumas espécies que melhor se adaptaram no Brasil, a princípio foram do gênero *Eucalyptus* e o *Pinus*, e o aumento das áreas plantadas com essas espécies atualmente já conta com 7,74 milhões de hectares. Entretanto, é importante estudar espécies alternativas para aumentar a diversidade e o volume de matéria prima ofertada, bem como, buscar espécies que possuam propriedades desejadas e direcionadas para utilizações específicas, impulsionando o setor econômico.

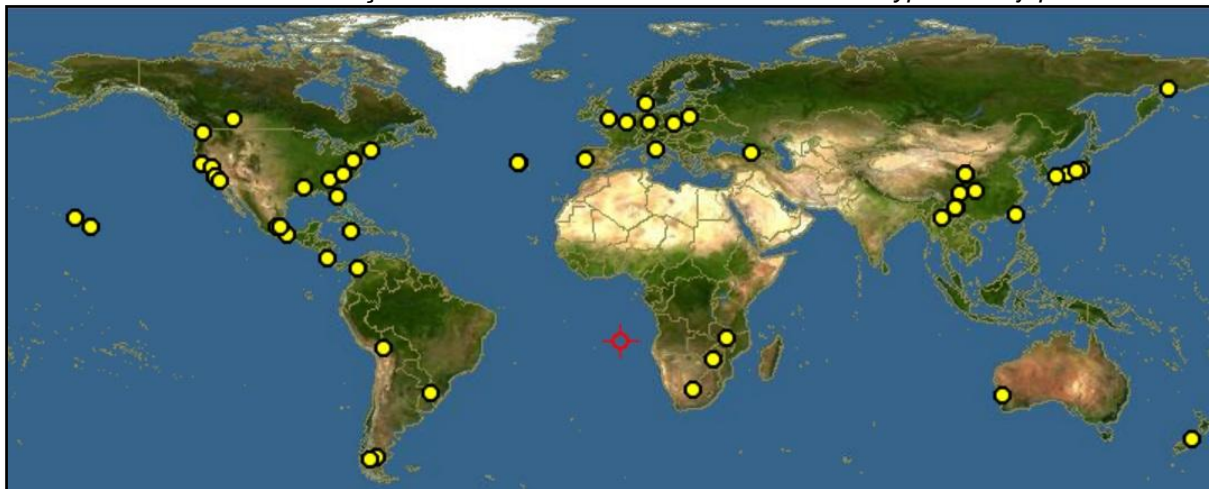
Atualmente vem se buscando analisar a implantação de outras espécies como alternativa de plantio, sendo que algumas já tem apresentado potencial econômico, como o mogno africano, teca, acácia, cedro australiano, e mais recentemente, a *Cryptomeria japonica*.

2.2 *Cryptomeria japonica* (L.F.) D. Don.

Segundo dados da Universidade de Trás-os-Montes – UTAD (2015), a *Cryptomeria japonica* é uma conífera também conhecida como Araucária-do-Japão, Cedro-japonês, Criptoméria, Falso-cedro-do-Japão ou “sugi” (no Japão), e pertence à família Taxodiaceae. Essa espécie segundo os mesmos autores, é natural do Japão (Honshu, Kyushu, Shikoku) e sudeste da China.

2.2.1 Distribuição da *Cryptomeria japonica*

A espécie foi encontrada na natureza e registrada em 1965 (BRC, 2016). Atualmente, tem sido plantada no Japão, na China, nos Açores e nos Estados Unidos, nos estados de Louisiana e Carolina do Norte (AÇORES, 2016; USDA, 2016). Sua distribuição pode ser melhor observada na Figura 1.

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS FLORESTAS PLANTADAS DE *Cryptomeria japonica*.

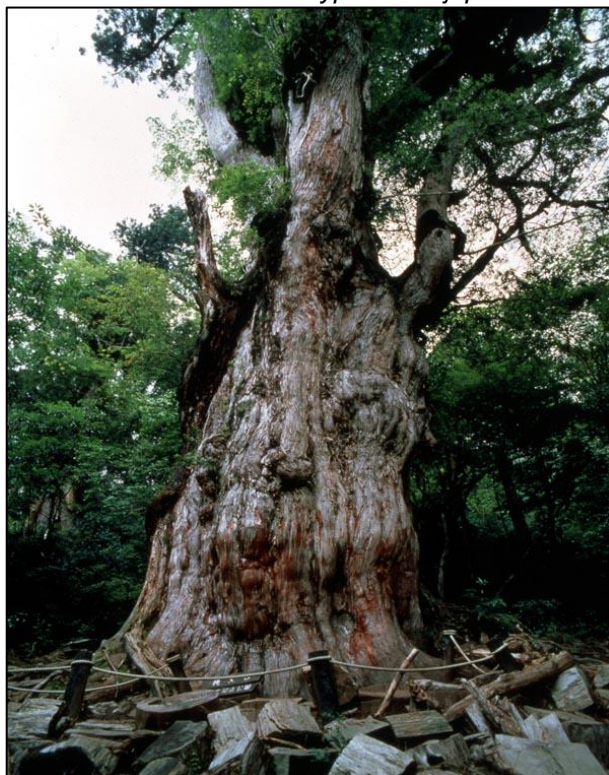
FONTE: DISCOVERLIFE (2016).

No Brasil, a *Cryptomeria japonica* começou a ser plantada em conjunto com outras espécies, para testes na indústria produtora de polpa celulósica, mais precisamente pela Cia. Melhoramentos, na cidade de Caieiras, em São Paulo, no ano de 1920 (LEÃO, 2000). Segundo Zerbini (2014), no ano de 2012, a produção de *Cryptomeria japonica*, especificamente na Região Sudeste, foi de 196,86 m³.

Segundo Conifers (2016), existem duas variedades de *Cryptomeria japonica*: a *Cryptomeria japonica* var. *japonica* e a *Cryptomeria japonica* var. *sinensis* Miquel, a qual é nativa da China, principalmente na montanha Tianmu.

De acordo com a IUCN (2013) esta espécie, de modo geral, ocorre naturalmente em florestas ou bosques de solo bem drenado e de clima ameno com chuvas abundantes. O mesmo autor corrobora que a cidade de Yakushima, localizada no Japão, é um dos lugares onde ainda existe floresta nativa de *Cryptomeria japonica*, apresentando árvores com mais de 1.000 anos, conforme a Figura 2.

FIGURA 2 – ARVORE MILENAR DE *Cryptomeria japonica* OU JOMON SUGI.



FONTE: JAPAN NATIONAL TOURISM ORGANIZATION (2016).

É considerada a maior conífera japonesa existente (SHIBUTANI; TAKATA; DOI, 2007). Conifers (2016) corrobora que é, também, uma das maiores coníferas do mundo, podendo alcançar em média altura de 35 m, no entanto, existe uma floresta com cerca de 250 anos em Nikko, na qual, as árvores possuem 65 m de altura e 2 m de diâmetro.

É muito indicada para localizações com altitude entre 600 e 1.800 m, clima com temperaturas baixas, onde apresenta crescimento mais rápido e adaptação às condições edafoclimáticas (DOBNER JÚNIOR; TRAZZI; HIGA, 2014).

2.2.2 Propriedades da madeira de *Cryptomeria japonica*

A *Cryptomeria japonica* possui madeira de aspecto muito semelhante as madeiras de Sequóia e Taxodium, bastante aromática, com canais de resina ausentes, presença e frequência de nós pequenos e médios, com ocorrência de fendas internas (AÇORES, 2016).

De acordo Gurgel Filho (1964), Pereira, Higa e Shimizu (2003), e Pinto (2011), sua madeira apresenta massa específica considerada leve a média, alta

estabilidade dimensional, boa trabalhabilidade, grã direita a levemente inclinada, presença de nós, e textura fina a grosseira, sendo que o cerne apresenta cor avermelhada e o alburno coloração clara, conforme a Figura 3. O ritidoma possui coloração castanho-avermelhada, é rugoso, e desprende-se espontaneamente em tiras verticais (IUCN, 2013).

FIGURA 3 – MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*



FONTE: (1) PEREIRA; HIGA; SHIMIZU (2016); (2) RARE WOOD SANDER VENEERS (2016).

Segundo Açores (2016), o alburno da *Cryptomeria japonica* é resistente ao ataque de cupim, e apresenta fácil impregnação de produtos preservantes. Já o cerne, possui maior durabilidade e só é suscetível ao ataque de cupins, em contrapartida, é de difícil impregnação por produtos preservantes.

De acordo com Kondo, Immaura e Suda (1959), a *Cryptomeria japonica* possui dois tipos de colorações no cerne, os quais são chamados cerne vermelho e cerne negro. Este segundo, frequentemente ocorre quando a madeira entra em contato com o ferro presente nos vasos celulares. O cerne desta espécie, ainda segundo os mesmos autores, é um dos mais resistentes contra o ataque de cupins.

Em relação à massa específica, a literatura apresenta os seguintes resultados: 0,400 g/cm³ (CARPANEZZI et al., 1998); 0,360 g/cm³ para arvores com 22 anos (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003); 0,255 g/cm³ para arvores com 14 anos (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009); 0,393 e 0,473 g/cm³ para arvores com 35 anos (PINTO, 2011); 0,260 g/cm³ (AÇORES, 2016) e 0,433 g/cm³ (IWAKIRI et al., 2015). Segundo Panshin e De Zeew (1981), a massa específica da *Cryptomeria japonica* diminui no sentido medula à casca.

No que tange a contração radial, tangencial e volumétrica, estudos realizados apresentam os seguintes valores respectivamente: 3,10%, 7,26%,

11,00% (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003); 2,96%, 6,59%, 9,96% (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009); 1,70%, 6,10%, 0,30% (AÇORES, 2016). As contrações longitudinais são desconsideráveis, normalmente são valores muito baixos. Para a anisotropia, os valores encontrados na literatura foram: 2,70 (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003) e 2,54 (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009).

Segundo Muñiz (1993), a contração volumétrica da *Cryptomeria japonica* é semelhante à de *Pinus elliottii* (10,7%) e de *Pinus taeda* (10,9%), porém, o coeficiente de anisotropia das espécies de *Pinus* tende a ser inferior ao cedro japonês (1,75).

No que concerne à análise química, a literatura relata os seguintes resultados: 32,7% de lignina e 65,6% de holocelulose (COLODETTE, 1982); 5,0% de extrativos, 33,0% de lignina e 63% de holocelulose (PEREIRA; HIGA; SHIMIZU, 2003); 0,9% de extrativos em água quente, 8,1% de extrativos em NaOH a 1%, 1,9% de extrativos em etanol-tolueno, 33,4% de lignina e 79,6% de holocelulose (ISHIGURI et al., 2005) e de 4,01% de extrativos totais e 31,73% de lignina (IWAKIRI et al., 2015).

Segundo Nakajima, Yoshimoto e Fukuzumi (1980) a *Cryptomeria japonica* apresenta um extrativo tóxico chamado ferruginol, o qual inibe e retarda a cura de adesivos e resinas, e ocorre quando ésteres insaturados são utilizados na constituição da resina aplicada na colagem.

Em relação às propriedades mecânicas, foram encontrados os seguintes valores para o módulo de ruptura (MOR) à flexão estática: 387,4 kgf/cm² (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009) e 440 kgf/cm² (AÇORES, 2016); para o módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática: 56,50 kgf/cm² (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009) e 39,84 kgf/cm² (AÇORES, 2016).

Para a colagem lateral, Iwakiri et al. (2015) relataram resultados de resistência com o adesivo PVAc de 2,30 MPa para uma gramatura de 150 g/m²; 2,26 MPa para uma gramatura de 200 g/m², sendo seus 5º percentis de 1,56 MPa e 1,68 MPa, respectivamente. Para o adesivo EPI, os mesmos autores encontraram os valores de 4,52 MPa para a gramatura de 150 g/m², 4,73 MPa para a gramatura de 200 g/m², sendo ambos seus 5º percentis 3,78 MPa, respectivamente.

Sobre a sua trabalhabilidade, pode se dizer que apresenta dificuldade de desenrolamento de toras e de corte plano, devido a fraca coesão transversal, é

muito delicada por apresentar baixa dureza. Em relação à colagem, apresenta boa capacidade de colagem, forma juntas resistentes, porém fraca fixação. Para a aplicação de acabamento, a madeira de *Cryptomeria japonica* é muito delicada, mas apresenta boa recepção a tintas e vernizes (AÇORES, 2016).

2.2.3 Indicação de utilização

A espécie não é cultivada comercialmente no Brasil para madeira serrada, móveis e produtos madeireiros, contudo, pode ser considerada potencial para plantios florestais em regiões altas e frias (SANTOS et al., 2000).

No Brasil, a *Cryptomeria japonica* não possui uma utilização tão difundida para móveis e estruturas, normalmente ela é mais indicada para fins ornamentais, conforme a Figura 4, em jardins e para bonsais, sendo utilizada inclusive como árvore de Natal (CARNEIRO; BITTENCOURT; MUNIZ, 2009). Poucos estudos foram conduzidos, onde Pinto (2011) conclui que a madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta um rendimento de 49,86% e boas características físicas e mecânicas para ser utilizada na laminação, ou seja, possui potencial para ser utilizada na laminação e na produção de compensados.

FIGURA 4 – UTILIZAÇÕES DA *Cryptomeria japonica*. 1- Pinheiro natalino e paisagismo; 2- Bonsai; 3 – Móveis e produtos de maior valor agregado.



FONTE: (1) CHRISTMAS TREE (2016); (2) GUIMARÃES (2016); (3) FURNITURE JAPÃO (2016).

Iwakiri et al. (2015) indicaram a madeira de *Cryptomeria japonica* para a utilização em juntas coladas, pois a espécie atingiu os pré-requisitos mínimos estabelecidos pela norma.

A IUCN (2013) corrobora que a casca fibrosa da *Cryptomeria japonica* era utilizada antigamente para compor os telhados das casas japonesas. Essa madeira segundo Watanabe, Kobayashi e Kuroda (2012) possui dificuldades de secagem.

Na Ilha de Açores é muito utilizada para produzir painéis lamelados, compensados (CLT), revestimentos, divisórias, isolamentos, portas, janelas, batentes, treliças, telhados, casas, embalagens e móveis (AÇORES, 2016).

De acordo Gurgel Filho (1964), Pereira, Higa e Shimizu (2003) e Pinto (2011), é também muito utilizada no Japão para produtos medicinais, como antimicrobiano natural e fungicida (devido à ação do ferruginol).

2.3 REFERÊNCIAS

AÇORES. Secretaria Regional da Agricultura e Ambiente Direção Regional dos Recursos Florestais. **Ficha técnica - Cryptomeria dos Açores**. 2016.

BIOLOGICAL RECORDS CENTRE – BRC. **Cryptomeria japonica**. Disponível em: <<https://www.brc.ac.uk/plantatlas/index.php?q=plant/cryptomeria-japonica>>. Acesso em: 26/04/16.

CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. DE. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 913–920, 2009.

CARPANEZZI, A. A.; PEREIRA, J. C. D.; CARVALHO, P. E.R.; REIS, A.; VIEIRA, A. R. R.; ROTTA, E.; STURION, J. A.; RAUEN, M. de J.; SILVEIRA, R. A. **Zoneamento ecológico para plantios florestais no estado de Santa Catarina**. EMBRAPA-CNPQ, p. 100, 1988.

CHRISTMAS TREE. **Cryptomeria japonica**. Disponível em: <<http://www.christmastreehome.com/images/cryptomeria.jpg>>. Acesso em: 26/04/16.

CONIFERS. The Gymnosperms database: **Cryptomeria japonica**. Disponível em: <<http://www.conifers.org/cu/Cryptomeria.php>>. Acesso em: 15/04/2016.

DISCOVER LIFE. **Cryptomeria japonica**. Disponível em: <http://www.discoverlife.org/mp/20m?r=.5&t_la=-12.5&t_lo=0.5&kind=Cryptomeria&place=target>. Acesso em: 26/04/16.

DOBNER JÚNIOR, M.; TRAZZI, P. A.; HIGA, A. R. Dendroecologia de um povoamento de *Cryptomeria japonica* (L.F.) Don. com 25 anos de idade no Sul do Brasil. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 2, p. 413–420, 2014.

FURNITURE. **Sugi**. Disponível em: <<http://wedge-blog.com/wp/wp-content/uploads/2013/08/sugi-zataku2.jpg>>. Acesso em: 26/04/16.

GUIMARÃES, F. Bonsai **Cryptomeria japonica**. Disponível em: <<https://br.pinterest.com/pin/89438742573294047/>>. Acesso em: 20/04/16.

GURGEL FILHO, O. A. **O comportamento florestal das coníferas exóticas**. Silvicultura em São Paulo, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 129 - 188, 1964.

ISHIGURI, F.; MATSUI, M.; YOKOTA, S.; YOSHIZAWA, M. Changes in the physical and chemical properties of six Japanese softwoods caused by lengthy smoke-heating treatments. **Journal of Wood Science**, Tóquio, v. 51, n. 2, p.161-166, 2005.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, R. F.; GONÇALVES, T. A. P.; LOIOLA, P. L.; CAMPELO, S. R. F.; FARIAS, S. M. de A. P. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 19 - 26, 2015.

JAPAN NATIONAL TOURISM ORGANIZATION. **Jomon Sugi**. Disponível em: <http://www.theodora.com/wfb/photos/japan/jomon_cedar_yakushima_island_kagoshima_pref_japan_photo_jnto.jpg>. Acesso em: 26/04/16.

LEÃO, R. M. **A floresta e o homem**. Editora da Universidade de São Paulo - Edusp, 2000.

LORENZI, H. **Árvores exóticas no Brasil: madeiras, ornamentais e aromáticas**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2003. 368 p.

MUÑIZ, G. I. B. **Caracterização e desenvolvimento de modelos para estimar as propriedades e o comportamento na secagem da madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e *Pinus taeda* L.** 235 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Curitiba, 1993.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da Madeira do Cedrinho Japonês**. Comunicado Técnico. EMBRAPA Florestas. Colombo. 2003.

PINTO, J. A. **Análise da viabilidade do uso da madeira de “*Cryptomeria japonica*” para laminação e produção de painéis compensado**. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

RARE WOOD SAND VENEERS. **Madeira de *Cryptomeria japonica***. <http://rarewoodsandveneers.com/files/2614/3473/5775/Cryptomeria_japonica_Japanese_or_Sugi_Cypress_Netherlands.jpg>. Acesso em: 26/04/16.

SHIBUTANI, S.; TAKATA, K.; DOI, S. Quantitative comparisons of antitermite extractives in heartwood from the same clones of *Cryptomeria japonica* planted at two different sites. **Journal of Wood Science**, v. 53, n. 4, p. 285–290, 2007.

UNIVERSIDADE DE TRÁS OS MONTES – UTAD. ***Cryptomeria japonica***. Disponível em: http://jb.utad.pt/especie/cryptomeria_japonica. Acesso em: 12/02/16.

IUCN - International Union for Conservation of Nature. ***Cryptomeria japonica***. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org/details/39149/0>>. 2013. Acesso em 20/04/16.

United States Department of Agriculture - **USDA** – Disponível em: <<http://plants.usda.gov/core/profile?symbol=CRJA3>>. Acesso em: 19/04/16.

WATANABE, K.; KOBAYASHI, I.; KURODA, N. Investigation of wood properties that influence the final moisture content of air-dried sugi (*Cryptomeria japonica*) using principal component regression analysis. **Journal Wood Science**, v. 58, p. 487–492, 2012.

ZERBINI, F. **Cenário da madeira FSC no Brasil 2012-2013**. Relatório técnico. FSC Brasil. 2014.

CAPÍTULO 3

PROPRIEDADES QUÍMICAS E FÍSICAS DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*

3.1 INTRODUÇÃO

A madeira é um material com características únicas, as quais são específicas para cada espécie, e ainda assim, dentro de cada árvore as propriedades físicas e químicas podem ser diferentes em função de sua idade, porcentagem de lenho tardio, juvenil, da sua massa específica, lenho de reação, das condições climáticas nas áreas dos plantios, entre outros fatores. Por conta disso, tornam-se importantes os estudos sobre as propriedades físicas e químicas a fim de otimizar sua utilização e a qualidade do produto final.

As propriedades químicas estão ligadas aos componentes da madeira, celulose, hemiceluloses e componentes acidentais como os extrativos. Estes últimos são os que mais exercem influência sobre os processos industriais, podendo aumentar a durabilidade natural, atuar na coloração da madeira, na higroscopicidade e permeabilidade, dificultar o processamento a partir de incrustações das ferramentas de corte, interferir na colagem e na aplicação de acabamentos superficiais.

As propriedades físicas mais importantes são a massa específica e a retratibilidade. Essas características podem influenciar significativamente nas propriedades mecânicas, nas operações de processamento primário, na secagem, nas operações de usinagem e beneficiamento, na qualidade de colagem, e, na aplicação de acabamentos superficiais.

Em relação à massa específica, pode-se afirmar que as madeiras de elevada massa específica podem oferecer maiores dificuldades de usinagem, colagem e aplicação de acabamento. Em contrapartida, as madeiras de baixa massa específica possuem melhor trabalhabilidade, porém, podem apresentar qualidade de acabamento inferior.

O teor de umidade é outra característica física importante. Não é recomendável usinar a madeira com teor de umidade acima do ponto de saturação de fibras, pois à medida que esse material perde a água contida em suas paredes celulares, poderá apresentar encurvamentos e rachaduras, que podem inutilizá-la.

Por fim, pode-se dizer que a retratibilidade é responsável pelas alterações dimensionais nos diferentes sentidos: longitudinal, radial e tangencial, e se diferencia de acordo com a espécie. As alterações nos sentidos tangencial e radial resultam na anisotropia da contração, a qual indica a estabilidade da madeira, podendo limitar seu uso para diversas finalidades, bem como, sugerir técnicas adequadas para seu processamento. Madeiras mais estáveis, ou seja, com baixa anisotropia de contração são as mais desejadas, pois podem evitar inúmeros problemas durante a geração de um produto, assim como, gerar produtos de melhor qualidade.

De acordo com Santos et al. (2000) e Carneiro, Bittencourt e Muniz (2009), a *Cryptomeria japonica* possui grande potencial para plantio e diversidade de utilização na indústria madeireira. Nota-se também, poucos estudos que abordam os aspectos tecnológicos dessa espécie, o que leva a necessidade de estudos sobre suas propriedades, especialmente das propriedades físicas e químicas, e a variabilidade das propriedades entre cerne e alburno.

3.2 OBJETIVOS

3.2.1 Objetivo geral

Avaliar as propriedades químicas e físicas da madeira de *Cryptomeria japonica*.

3.2.2 Objetivos específicos

O trabalho teve por objetivos específicos:

- Avaliar a composição química da madeira de *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar as propriedades de massa específica e retratibilidade da madeira de *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar as propriedades químicas e físicas da madeira de *Cryptomeria japonica* de acordo com a posição radial.

3.3 REVISÃO DE LITERATURA

As propriedades químicas e físicas constituem importantes propriedades da madeira, e apresentam variações de acordo com a espécie, posição ao longo do fuste, e entre árvores. Por meio do estudo dessas propriedades, bem como de sua variação, é possível obter melhorias no processo de industrialização, e consequentemente, melhorar a qualidade do produto final.

3.3.1 Propriedades químicas da madeira

A composição química da madeira é constituída, segundo Panshin e De Zeew (1980), Sjöström (1981) e Marra (1992), por 60 a 75% de celulose, 20 a 30% de lignina, 1 a 10% de extrativos e 0,1 a 0,5% de cinzas. Panshin e De Zeew (1980) afirmam que essa faixa de variação se deve a diferença de composição química entre coníferas e folhosas, que para coníferas, podem-se observar menores teores de hemicelulose, extrativos, e de cinzas, e maior teor de lignina.

Segundo Tsoumis (1991), de maneira geral, as coníferas apresentam maiores teores de componentes acidentais do que as folhosas, exceto para o teor de cinzas, conforme a Tabela 1. Sjöström (1981) atesta que a diferença de valores entre coníferas e folhosas ocorre em razão do número de grupos metoxil presentes em cada espécie.

TABELA 1 – DIFERENÇAS QUANTITATIVAS NA ANÁLISE QUÍMICA DE CONÍFERAS E FOLHOSAS.

| Ensaio de extração | Coníferas | Folhosas |
|---------------------------|------------------|-----------------|
| Etanol | 0,2 – 8,5% | 0,1 – 7,7% |
| Água quente | 0,5 – 10,6% | 0,3 – 11,0% |
| Água fria | 0,2 – 14,4% | 0,2 – 8,9% |
| Lignina | 21,7 – 37,0% | 14 – 34,6% |
| Cinzas | 0,02 – 1,1% | 0,1 – 5,4% |

FONTE: Adaptado de TSOUMIS (1991).

Os componentes acidentais são indicadores de conformidade da madeira para determinadas aplicações como a colagem da madeira, usinagem e o

acabamento (PANSHIN; DE ZEEW, 1980). Dentre os componentes acidentais estão os extrativos e as cinzas (BRAND; MUÑIZ, 2012).

De acordo com Tsoumis (1991) e Sjöström (1993) os extrativos são constituídos por graxas, gorduras, triterpenóides, esteróides, resinas, taninos e óleos. Nurmi (1992) relata que esses componentes têm maior concentração na casca e na folhagem de uma árvore do que na madeira em si. A formação de extrativos ocorre durante o desenvolvimento do cerne, e essas substâncias produzem efeitos na higroscopicidade, permeabilidade e durabilidade da madeira (MARRA, 1992).

Dessa maneira, Moslemi (1974), Frihart e Hunt (2010) e Trianoski (2010) mencionam que a presença dos componentes acidentais pode reduzir significativamente a capacidade de adesão e ocasionar um considerável aumento na resistência à umidade.

Segundo Frihart e Hunt (2010) os extrativos com alta acidez podem exercer interferência na cura de alguns adesivos. No caso dos alcalinos, pode haver retardamento da polimerização, já nos adesivos que curam em meio ácido, pode ocorrer o comprometimento da integridade do filme adesivo e da qualidade de colagem.

A presença de extrativos na madeira contribui para a contaminação de sua superfície do ponto de vista químico, a qual ocorre de maneiras diferentes de acordo com a espécie e o tipo de extrativo (FRIHART; HUNT, 2010). Por exemplo, os óleos, quando expostos a altas temperaturas migram para a superfície, onde se concentram e bloqueiam o contato físico da madeira com o adesivo. Essa migração de extrativos para as camadas superficiais, podem, segundo Tsoumis (1991) e Iwakiri (2005), alterar o pH da madeira e assim influenciar as condições de colagem, resultando na pré-cura do adesivo, inibindo a umectação, fluidez e penetração na madeira. De acordo com Lima et al. (2008), um dos fatores que pode gerar colagens de baixo desempenho é o tipo de extrativo encontrado na madeira.

Segundo Iwakiri (2005), no caso das colagens, os adesivos alcalinos são mais tolerantes a superfícies contaminadas pelo fato de possuir a habilidade de desobstruir a superfície, gerando uma penetração de maior profundidade e eficiência. Em relação à colagem lateral e de topo (tipo *finger-joint*), as reações de polimerização do adesivo podem sofrer interferências devido à quantidade e a natureza do extrativo contido na superfície da madeira (LIMA et al., 2008).

Outro componente accidental, as cinzas consistem nos componentes inorgânicos encontrados na madeira, os quais auxiliam na nutrição da árvore (BRAND; MUÑIZ, 2012). Iwakiri (2005) complementa que o teor de cinzas deve se apresentar em torno ou abaixo de 0,5%, e pode exercer influência sobre a usinagem, visto que este pode acarretar desgaste nas ferramentas devido às substâncias inorgânicas.

3.3.2 Propriedades físicas da madeira

As principais propriedades físicas da madeira consistem na massa específica e a retratibilidade, e essas características se alteram dentro de cada espécie dependendo da posição no tronco, e do sentido medula à casca, além da idade da árvore. Em função disso, é relevante conhecer o comportamento de cada espécie para que o processamento e a usinagem da madeira resultem em peças de qualidade elevada (DOWNES et al., 1997; SILVA, 2002; DIAS JÚNIOR et al., 2013).

De acordo com Frihart e Hunt (2010), em espécies de massa específica baixa, o processo de colagem ocorre com maior facilidade por diversas razões: elas possuem um volume de lúmen que comporta maior quantidade de adesivo, permitindo maior ancoragem; não requerem aplicação de elevada pressão, têm menor teor de extrativos, os quais influenciam na cura dos adesivos, além de sua contração e inchamento serem menores também.

Não obstante, Marra (1992) corrobora que a massa específica está relacionada à resistência na linha de cola, sendo que madeiras de massa específica mais elevada possuem maior resistência na linha de cola, especialmente na faixa de 0,7 a 0,8 g/cm³. Ainda segundo este autor, acima desse valor, existe uma tendência de enfraquecimento dessa resistência.

Ainda em relação à massa específica, observa-se frequentemente que quanto maior a sua magnitude, maior será o valor de retratibilidade, e consequentemente mais difícil será a usinagem, colagem e aplicação de acabamentos nessa peça (STEWART; POLAK, 1975; SILVA, 2002).

No que tange o teor de umidade, a condição mais indicada para se realizar a colagem é entre 6 e 14%, ressaltam Frihart e Hunt (2010), pois madeiras com teor de umidade elevado oferecem dificuldades de colagem, o adesivo resulta em baixa eficiência de movimentação e penetração, escorrendo adesivo em colagens sob alta

pressão. Sellers (1985) complementa o efeito do elevado teor de umidade sobre a colagem, mencionando que a polimerização da linha de cola será deficiente, onde o tempo de prensagem deverá ser maior e a resistência da linha de cola menor.

Por outro lado, Selbo (1975), Prata (2010) e Almeida (2011) complementam que madeiras com teor de umidade muito baixo promovem a evaporação da água presente na linha de cola muito rapidamente. Neste caso, a adesão é alta, porém o adesivo desaparece, iniciando o processo de cura antes do esperado, e assim não é capaz de preencher e umectar sob pressão na prensa (SELLERS, 1985; NISGOSKI, 1999; ALMEIDA, 2011).

A instabilidade dimensional e os elevados coeficientes de anisotropia segundo Trianoski (2012), são características que limitam as aplicações da madeira, e, portanto, madeiras com essas características requerem técnicas apropriadas de processamento.

As variações dimensionais acontecem até o ponto de saturação das fibras (PSF), o qual se encontra entre 28 e 30% de umidade (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; CHIES, 2005; TRIANOSKI, 2010). As maiores variações dimensionais ocorrem no sentido tangencial aos anéis de crescimento, radial e longitudinal, respectivamente (PANSIN; DE ZEEUW, 1980; TRIANOSKI, 2012). Os mesmos autores ressaltam que no sentido longitudinal as alterações podem ser consideradas desprezíveis.

A diferença entre as contrações tangencial e radial segundo Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975) e Trianoski (2012), podem ser esclarecidas pela restrição dos raios no sentido radial, notadamente no caso das coníferas, pelo arranjo helicoidal das microfibrilas, onde nas paredes radiais dos traqueoides existem de 50 a 300 pontoações, motivo pelo qual as microfibrilas são desviadas do seu curso normal.

Em relação ao sentido longitudinal, suas pequenas alterações são explicadas pelo fato de grande parte dos elementos estruturais estarem dispostos verticalmente, e assim o número de paredes por cm^2 é bem menor neste sentido (KLOCK, 2000; TRIANOSKI, 2012).

O índice mais representativo em termos da avaliação da estabilidade dimensional da madeira é o coeficiente de anisotropia (DURLO; MARCHIORI, 1992; TRIANOSKI, 2012), o qual é proveniente da razão das alterações sofridas nos sentidos tangencial e radial. Segundo Durlo e Marchiori (1992), madeiras com

coeficiente de anisotropia de até 1,5 são consideradas madeiras muito estáveis (de pouca propensão a empenamento), madeiras com coeficiente de anisotropia de 1,6 até 2,0 são consideradas média baixa, de 2,1 a 2,5 são classificadas como média alta e acima de 2,6 são madeiras muito instáveis (sujeita a empenamentos).

Outro fator que exerce influência sobre o processamento da madeira e a qualidade do produto final e que merece ser destacado é a posição radial. Uma das formas de se classificar a madeira de acordo com a posição radial é a diferenciação de madeira de cerne e alburno, ou ainda, madeira próximo a medula e madeira próximo a casca. Muitas espécies apresentam cerne e alburno bem definidos, os quais apresentam diferentes características, influenciando significativamente as propriedades químicas e físicas, bem como o processamento da madeira, sua utilização e o produto final.

De acordo com Iwakiri (2005), o cerne possui maior densidade, menor permeabilidade, dificuldades de secagem, problemas de penetração de produtos preservativos, adesivo e acabamentos, maior teor de extrativos e dificuldades de usinagem.

3.4 MATERIAIS E MÉTODOS

3.4.1 Material

A *Cryptomeria japonica* utilizada neste estudo foi proveniente de plantios experimentais localizados em uma Estação Experimental da Universidade Federal do Paraná, no Sul do Brasil, na cidade de Rio Negro, situada no interior do estado do Paraná. O teste de procedência desta espécie foi instalado entre fevereiro e abril de 1980, e os exemplares quando coletados possuíam 35 anos de idade (DOBNER JÚNIOR; VAGAES; HIGA, 2013).

O material utilizado neste experimento, de forma geral, foi composto por 55 tábuas de *Cryptomeria japonica* conforme a Figura 5, com as dimensões de 3,5 m de comprimento, largura variando entre 16 e 30 cm e espessura de 2,6 cm.

Os experimentos foram conduzidos nos laboratórios de Painéis de Madeira e Química da Madeira da Universidade Federal do Paraná (UFPR).

FIGURA 5 – TÁBUAS UTILIZADAS NO ESTUDO DE *Cryptomeria japonica*.



Fonte: A autora (2016).

3.4.2 Determinação das propriedades químicas

Das extremidades das 55 tábuas foram extraídas amostras de 1 cm conforme a Figura 6, e a partir desse material foram separados manualmente o cerne e o alburno com o auxílio de um formão.

FIGURA 6 - EXTRAÇÃO DE AMOSTRAS DE *Cryptomeria japonica* PARA REALIZAÇÃO DA ANÁLISE QUÍMICA.



Fonte: A autora (2016).

Após a separação do material de acordo com a posição radial, foi realizada a redução das partículas em moinho de facas tipo *Willey*. As partículas foram classificadas com auxílio de peneiras. O conjunto de peneiras apresentava-se nos tamanhos de 40 *mesh* e 60 *mesh* conforme a norma TAPPI T-257 (2012). Somente as partículas retidas na peneira de 60 *mesh*, conforme apresenta a Figura 7, foram utilizadas para as análises químicas.

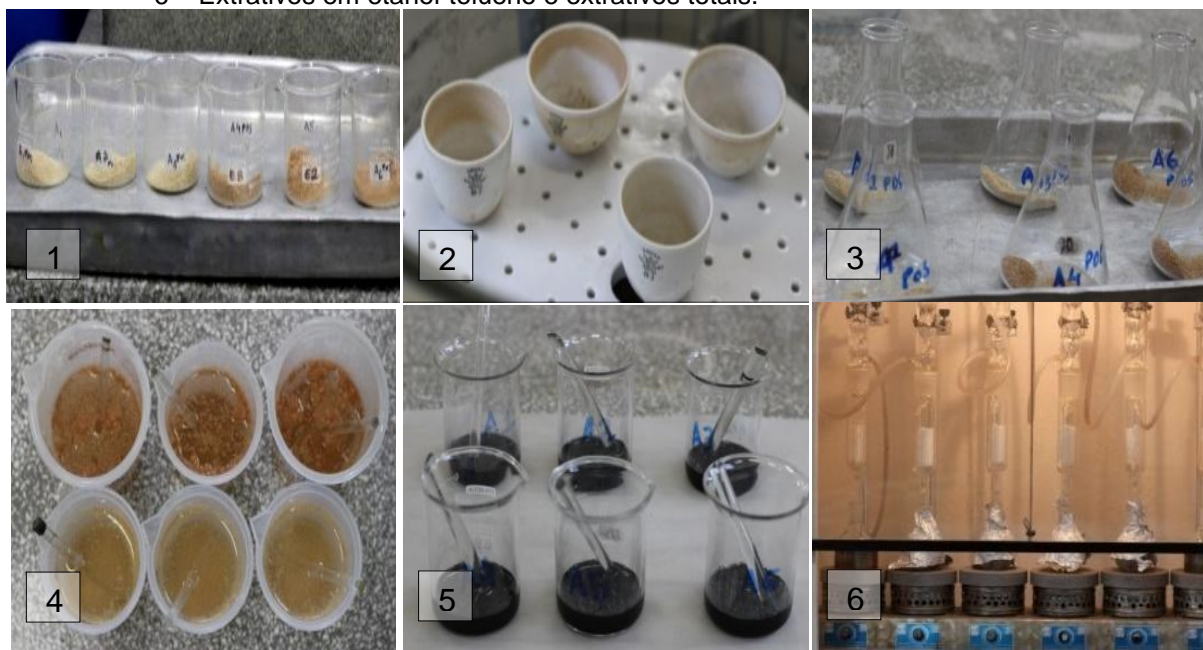
FIGURA 7 - ETAPAS DA PREPARAÇÃO DO MATERIAL PARA AS ANÁLISES QUÍMICAS. 1 – Madeira em forma de cavacos grandes; 2 – Peneira classificatória de partículas; 3 - Partículas do cerne classificadas em peneira de 60 *mesh*; 4 - Partículas 60 *mesh* de cerne e alburno.



Fonte: A autora (2016).

A composição química quantitativa da madeira foi avaliada como demonstra a Figura 8, mediante a determinação do teor de extrativos em água fria e quente; em hidróxido de sódio a 1%, em etanol-tolueno, extrativos totais, teor de lignina e teor de cinzas, conforme as normas TAPPI 207 (1999), TAPPI 212 (2002), TAPPI 264 (1997), TAPPI 222 (2002) e TAPPI 211 (2002), respectivamente.

FIGURA 8 - ETAPAS DA ANÁLISE QUÍMICA. 1 – Amostras de *Cryptomeria japonica*. 2 – Quantificação do teor de cinzas 3- Amostras sendo preparadas para a etapa de extração em água quente. 4 – Extração do teor de extrativos em água fria. 5 – Extração da lignina. 6 – Extrativos em etanol-tolueno e extrativos totais.



Fonte: A autora (2016).

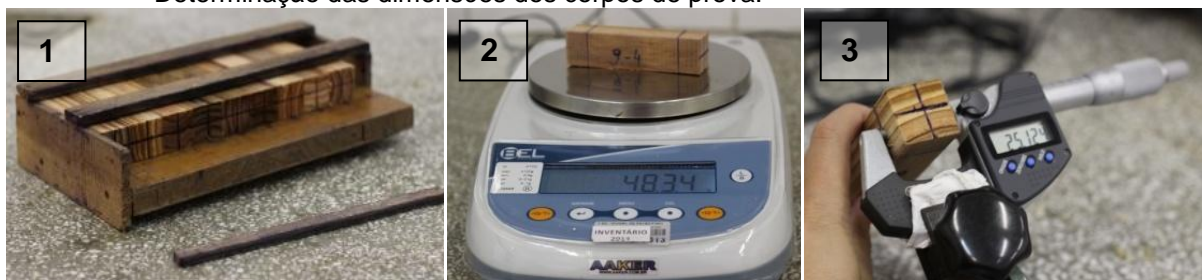
Para a determinação do pH da madeira, foi realizada adaptação da Norma TAPPI 252 (2002). Foram pesados 2g de serragem absolutamente seca em balança digital de precisão, as quais foram transferidas para *erlenmeyer*, sendo, posteriormente, adicionados 100 ml de água destilada. O material foi conservado sob fervura em banho-maria durante 1 hora, e após o resfriamento a temperatura ambiente (23° - 24°C), foram realizadas as medições. As leituras foram efetuadas em pHmetro digital após o intervalo de 2 e 24 horas.

3.4.3 Determinação das propriedades físicas

Para a determinação das propriedades físicas, as 55 tábuas foram seccionadas, obtendo-se amostras de 35 cm de comprimento, largura variando entre 26 e 35 cm e espessura de 2,6 cm, conforme a Norma COPANT 458 (1972), *Maderas – Selección y colección de muestras*. As amostras foram orientadas, segundo o plano de corte, e posteriormente submetidas à saturação. Após a saturação das peças, foram confeccionados corpos de prova para a avaliação da massa específica básica e da retratibilidade, conforme Figura 9, seguindo, os procedimentos da Norma COPANT 461 (1972) - *Método de determinación del peso*

específico aparente, e da Norma COPANT 462 (1972) – *Método de determinación de la contracción*. A massa específica aparente a 12% foi determinada a partir da medição de todos os sarrafos preparados para a colagem lateral e emendas *finger-joint*.

FIGURA 9 - ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DA RETRATIBILIDADE DE *Cryptomeria japonica*. 1 – Marcação dos corpos de prova; 2 – Determinação do peso dos corpos de prova; 3 – Determinação das dimensões dos corpos de prova.



Fonte: A autora (2016).

3.4.4 Análise estatística

Os resultados dos ensaios foram submetidos à análise estatística, ao partir do Teste de *Grubb's* para avaliar a ocorrência de *outliers*, Teste de *Bartlett* para verificar a homogeneidade de variância e Análise de variância. Quando a Anova indicou a ocorrência de diferença estatística significativa em alguma das propriedades avaliadas, procedeu-se o teste de comparação de médias de *Tukey*. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico “*Statgraphics Centurion XVI*”, a 95% de confiabilidade.

Determinaram-se também, as correlações de *Spearman* entre as propriedades de densidade e retratibilidade da madeira. Essas correlações foram testadas pelo teste F a 5% de significância e realizadas no software “*Statgraphics Centurion XVI*”.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1 Avaliação das propriedades químicas

Os valores médios das propriedades químicas da madeira de *Cryptomeria japonica* são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES QUÍMICAS DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Propriedades químicas | Cerne ¹ (%) | Alburno ¹ (%) |
|--------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| Teor de extrativos em água fria | 1,58 a (9,95) | 0,32 b (11,14) |
| Teor de extrativos em água quente | 3,19 a (2,64) | 1,81 b (3,25) |
| Teor de extrativos em NaOH | 11,02 a (1,10) | 7,65 b (2,02) |
| Teor de extrativos em etanol tolueno | 5,31 b (3,74) | 1,23 a (3,92) |
| Teor de extrativos totais | 5,58 b (3,42) | 1,96 a (5,07) |
| pH | 5,68 a (0,90) | 5,77 a (1,61) |
| Teor de lignina | 35,88 a (0,83) | 35,04 a (1,02) |
| Teor de materiais inorgânicos | 0,67 a (1,29) | 0,31 b (4,91) |

1: Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas de mesma letra na mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação.

Os resultados obtidos no presente trabalho demonstraram que a madeira de *Cryptomeria japonica*, possui propriedades químicas de acordo com os valores mencionados na literatura, por autores como Hillis (1971), Sjoström (1981) e Fengel e Wegener (1984).

Todas as propriedades químicas apresentaram diferenças estatísticas significativas com exceção do pH e da lignina, as quais apresentaram os menores coeficientes de variação.

De forma geral, o cerne apresentou valores médios mais elevados que o alburno nas análises de água quente, água fria, etanol-tolueno e extrativos totais, fato que pode estar associado ao ferruginol, o qual é um extrativo classificado como diterpeno, responsável pelo odor agradável presente na madeira de *C. japonica* (FENGEL; WEGENER, 1989, KOFUJITA et al., 2002). Além disso, durante a formação do cerne, são depositados taninos, óleos essenciais e substâncias fenólicas que aumentam a durabilidade natural da madeira (PANSIN; DE ZEEW, 1980). De acordo com os mesmos autores, as coníferas tendem a apresentar incrustações pela deposição de materiais e tiloses os quais tornam o teor de extrativos maior e o cerne com maior massa específica que o alburno.

O valor médio para o teor de extrativos em água-fria para o cerne apresentou valor médio de 1,58% e o alburno 0,32%. Segundo a literatura, as substâncias normalmente solúveis em água fria são representadas pelos sais, açúcares simples, polissacarídeos, e algumas substâncias fenólicas.

O valor médio obtido para o teor de extrativos em água quente foi de 2,49% para o cerne e 1,81% para o alburno. Nessa etapa pode ocorrer a solubilização de outros compostos fenólicos (HILLIS, 1971).

Para o teor de componente solúveis em hidróxido de sódio (NaOH), o qual pode ser um indicativo da biodegradação da madeira pela ação de agentes biodeterioradores, verificou-se um valor médio obtido de 11,02 % para o cerne e 7,65 % para o alburno. Visualmente, não foram perceptíveis sinais de deterioração nas amostras, como manchas e outros danos. Logo, estes valores podem ser explicados devido à solubilização da lignina e das hemiceluloses, o que pode aumentar a quantidade de componentes solúveis neste reagente, sem a madeira apresentar realmente a degradação.

A análise dos extrativos em etanol-tolueno mostrou que a *Cryptomeria japonica* apresenta valor médio para o cerne consideravelmente maior que o alburno, 5,31% e 1,23% respectivamente. Essa etapa consiste na extração de ácidos graxos e ésteres (FENGEL; WEGENER, 1989; MARRA, 1992).

Os extrativos totais representam todos compostos a serem extraídos da madeira, os quais, no presente estudo, foram de 5,58 % para o cerne e 1,96% para

o alburno. O cerne apresentou valores mais elevados do que o alburno, possivelmente, devido a *C. japonica* apresentar no cerne, as substâncias oleosas 1-epi-cubenol, δ -cadinene, cubenol, trans-calamenene, α -eudesmol e α -muurolene, sendo a maior proporção de sesquiterpenos (52%) (HO et al., 2010). Shibutani, Takata e Doi (2007) corroboram que nesta região ocorre uma concentração de cryptomeriol, ferruginol e outras substâncias com propriedades antifúngicas e antimicrobianas.

A quantidade de extrativos totais da madeira, segundo Nurmi (1992), varia de 3,5 a 5,4% para coníferas. Fengel e Wegener (1989), Nisgoski (1999) e Trianoski (2010) complementam que o teor de extrativos para madeira de coníferas está na faixa de 2 a 10%. A *C. japonica* utilizada neste estudo apresentou valores médios de extrativos totais semelhantes aos valores encontrados por Nurmi (1992) para coníferas.

Baixos teores de extrativos na madeira são desejados, tendo em vista o efeito negativo destes componentes sobre diversos processos e produtos. Por outro lado, também apresentam alguns benefícios, conforme o uso final. De acordo com Caixeta (2000) e Lima et al. (2007), os extrativos da madeira que interferem sobre a utilização da madeira se referem a alterações na coloração, aumento de durabilidade e danos ao desempenho da linha de cola, como a pré-cura dos adesivos.

A natureza dos extrativos e sua quantidade na madeira podem exercer interferência nas reações de polimerização do adesivo ou gerar uma reação entre o extrativo da madeira e o adesivo (TSOUMIS, 1991; HILLIS, 1971; LIMA et al., 2007).

O baixo teor de extrativos encontrado neste estudo pode ser uma vantagem para realizar a colagem, tanto lateral quanto de topo, pois segundo Tsoumis (1991), provavelmente não haverá influência negativa na polimerização do adesivo, e nem na aderência à madeira.

Nos processos de usinagem da madeira, os extrativos podem aderir à lamina ou ferramenta de corte e ao elemento abrasivo, dificultando o aplainamento, a furação, a perfilagem, o lixamento, entre outras operações. Como exemplo, citando o caso específico da *Cryptomeria japonica*, este fato (de impregnação, incrustação da lixa), foi observado durante o processo de lixamento, conforme

Figura 15, do capítulo 4, página 84.

No caso da aplicação de produtos de acabamento, Ghofrani, Mirkhandouzi e Ashouri (2015) relatam o efeito da presença de extrativos na madeira, mencionando que estas substâncias podem reduzir a compatibilidade e a força de adesão dos vernizes. Já, Hillis (1971) menciona que alguns tipos de extrativos podem conferir aderência ao acabamento e estabilidade dimensional à madeira, outros são absorvedores de luz ultravioleta e aumentam a estabilidade dos vernizes.

Os valores médios do pH variaram de 5,68 a 5,77, não sendo constatada diferença estatística significativa entre as diferentes posições radiais. Segundo descrições de Johns e Niazi (1980) e Trianoski (2010, 2012), o pH do alburno encontra-se geralmente em torno de 5 a 6, e o pH do cerne pode alcançar os valores entre 3 e 4. Porém, no presente estudo, o valor para o alburno se apresentou dentro da faixa indicada por esses mesmos autores, e o valor para o cerne foi superior as descrições realizadas por Johns e Niazi (1980) e Trianoski (2010, 2012).

O valor médio de lignina na espécie foi de 35,46%, cuja variação entre as posições radiais de cerne e alburno foi de 35,88% e 35,04%, respectivamente, não sendo constatadas diferenças estatísticas significativas. Em análise do teor de lignina da *C. japonica*, Sudiyani et al. (1999) encontraram um teor de 29,1 % para árvores com 20 anos de idade, valores menores do que os obtidos por este estudo. Em compensação, Ehara, Saka e Kawamoto (2002) obtiveram valor médio de 33,6%, e Colodette (1982), encontrou valor de 32% de lignina, ou seja, resultados semelhantes ao valor resultante dessa análise.

O teor de cinzas observado foi de 0,67 % para o cerne e de 0,31 % para o alburno, sendo constatada diferença estatística significativa entre as duas regiões estudadas. Segundo Panshin e De Zeew (1980), na formação do cerne são produzidos certos extrativos, resultado do processo de combustão e deposição de substâncias inorgânicas no cerne, como cálcio, potássio e magnésio, e também substâncias específicas como manganês e sílica.

Em comparação com os valores obtidos no presente estudo, tanto os valores de teor de materiais inorgânicos para o cerne, como para o alburno, se encontram dentro da faixa descrita por Fengel e Wegener (1989), os quais descreveram um teor de cinzas para coníferas na faixa de 0,1 a 1,0%. Este resultado indica que o material estudado não apresenta grande quantidade de substâncias inorgânicas que possa exercer influência principalmente na usinagem e preparação das peças para recebimento de produtos de acabamento.

3.5.2 Avaliação das propriedades físicas

Os valores médios das propriedades físicas da madeira de *Cryptomeria japonica*, bem como de seus respectivos valores nas posições radiais são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 - RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| | Propriedades físicas | Espécie ¹ | Cerne ² | Alburno ² |
|-----------------|---|----------------------|--------------------|----------------------|
| Massa | Massa específica verde (g/cm ³) | 0,76 (15,52) | 0,68 a (10,73) | 0,81 b (14,70) |
| | Massa específica aparente 0% (g/cm ³) | 0,48 (10,63) | 0,47 a (8,85) | 0,50 b (8,94) |
| | Massa específica básica (g/cm ³) | 0,43 (9,99) | 0,42 a (10,60) | 0,43 b (9,41) |
| Retratibilidade | Contração volumétrica (%) | 10,63 (16,40) | 9,65 a (19,76) | 11,40 b (11,08) |
| | Contração tangencial (%) | 6,93 (12,85) | 6,69 a (14,65) | 7,20 b (9,72) |
| | Contração radial (%) | 3,86 (30,02) | 3,13 a (38,92) | 4,36 b (18,64) |
| | Contração longitudinal (%) | 0,17 (39,80) | 0,16 a (46,77) | 0,17 a (36,18) |
| | Anisotropia | 1,87 (21,25) | 2,11 b (16,31) | 1,69 a (13,00) |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas de mesma letra na mesma linha são estatisticamente iguais pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade; Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação

Segundo o experimento em questão, a massa específica a 0%, a massa específica básica e a massa específica verde foram maiores no alburno do que no cerne e para ambas as medições, os coeficientes de variação foram baixos.

Em relação ao valor médio para a massa específica básica, pode-se observar que tanto para o cerne quanto para o alburno, os valores médios apesar de apresentarem diferenças estatísticas, apresentaram valores próximos, de 0,42 e 0,43 g/cm³, respectivamente.

No que tange a contração volumétrica, o valor médio obtido para a espécie foi de 10,63%, de 9,65% para o cerne e 11,40% para o alburno. Para a contração tangencial o valor médio encontrado para a espécie foi de 6,93%, 6,69% para o cerne e 7,20% para o alburno, para a contração radial o valor médio da espécie foi de 3,86%, 3,13% para o cerne e 4,36% para o alburno. E por fim, a contração longitudinal, que não apresentou valores expressivos, de 0,17% para a espécie, 0,16% para o cerne e 0,17% para o alburno. Para todas as determinações da contração o valor mais elevado encontrado foi para o alburno.

Os valores encontrados no presente estudo, para a anisotropia, foram mais elevados para o cerne, qualificando a madeira de *C. japonica* como madeira com baixa propensão ao empenamento para o cerne (2,11) e normal para o alburno (1,69), com anisotropia de 1,87 para a espécie. Segundo a classificação de Durlo e Marchiori (1992), estes valores indicam, de maneira geral, que a madeira desta espécie possui qualidade normal, boa estabilidade e boa trabalhabilidade, o que pode significar que esta espécie pode ser utilizada para movelaria com certos cuidados.

Os estudos de Carneiro, Bittencourt e Muñoz (2009), utilizaram árvores de 14 anos de *Cryptomeria japonica*, os quais apresentaram massa específica básica média de 0,255 g/cm³, inferior ao presente estudo, o qual apresentou massa específica média de 0,436 g/cm³ para o cerne e 0,422 g/cm³ para o alburno, para indivíduos de cerca de 30 anos. Esta diferença nos valores de massa específica pode estar associada às diferenças de idade entre as árvores analisadas, sendo que, quanto mais velha a árvore, maior é sua massa específica. Em relação as contrações tangencial, radial e volumétrica, os autores citados anteriormente obtiveram respectivamente valores de 6,59%, 2,96% e 9,96%, todas inferiores aos valores do presente estudo. Por fim, em relação ao coeficiente de anisotropia médio, o estudo citado apresentou um valor de 2,54, valor superior ao valor médio obtido neste estudo, que foi de 1,87, o que indica que a *Cryptomeria japonica* pode ser indicada na utilização em móveis, porém com cuidados a serem administrados.

Pereira, Higa e Shimizu (2003) encontraram valores médios para massa específica básica de 0,360 g/cm³ em árvores de 22 anos de idade, valor inferior ao estudado, provavelmente devido à diferença de idade das árvores. Em relação aos índices de contração tangencial, radial e volumétrica, eles obtiveram respectivamente, 7,26%, 3,09% e 11%, sendo que os valores para as contrações

tangencial e a volumétrica são compatíveis com os obtidos para a madeira de alburno do presente estudo. Por outro lado, o coeficiente de anisotropia destes autores também foi superior (de 2,7) em relação ao coeficiente de anisotropia encontrado neste experimento.

A massa específica básica média de toras de *C. japonica* encontrada por Matsumura et al. (2013) foi de 0,310 g/cm³ para o cerne e de 0,276 g/cm³ para o alburno, Hasegawa et al. (2012) obtiveram valores médios de 0,429 g/cm³ para o cerne e 0,421 g/cm³ para o alburno, Ishiguri et al. (2005) obtiveram valor de 0,360 g/cm³ para árvores com 29 anos de idade, e, Yang et al. (2008) apresentaram valor de 0,520 g/cm³. O estudo de Hasegawa et al. (2012) apresentou os valores mais próximos aos valores encontrados neste estudo (de 0,42 g/cm³ para o cerne e 0,43 g/cm³ para o alburno).

3.5.3 Estudo de correlações da massa específica

A Tabela 4 apresenta as correlações entre a massa específica e as propriedades de retratibilidade.

TABELA 4 - CORRELAÇÃO ENTRE MASSA ESPECÍFICA BÁSICA, CONTRAÇÃO TANGENCIAL, RADIAL, VOLUMÉTRICA E ANISOTROPIA DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Posição | ME (g/cm ³) | Ct | Cr | Cv | Anisotropia |
|---------|----------------------------|-------|--------------------|-------|----------------------|
| Espécie | 0,43 | 0,37* | 0,47* | 0,48* | - 0,36* |
| Cerne | 0,42 | 0,24* | 0,21 ^{ns} | 0,30* | - 0,05 ^{ns} |
| Alburno | 0,43 | 0,46* | 0,73* | 0,66* | - 0,64 |

Ct: Contração tangencial; Cr: Contração radial; Cv: Contração volumétrica; ^{ns}: Não significativo a 95% de probabilidade; *: significativos a 95% de probabilidade; sinal negativo (-) indica que a propriedade está inversamente correlacionada a massa específica.

A correlação encontrada para a massa específica em relação à espécie (cerne e alburno) é classificada, segundo Pallant (2007), como de média intensidade (valores concentrados entre 0,30 a 0,49 ou -0,30 a -0,49) para as variáveis de contração tangencial radial, volumétrica e para a anisotropia, e todas consideradas estatisticamente significativas. O resultado encontrado está de acordo com os relatos de Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975), os quais corroboram que quanto maior

a massa específica, maior a contração da parede celular. Isso significa que 48% da variação da contração volumétrica da espécie pode ser explicada pela variação da sua massa específica.

Para o cerne, foram encontradas correlações de baixa intensidade, as quais foram significativas para a contração tangencial e para a volumétrica, e não significativas para as demais propriedades estudadas. Essas relações apresentadas não foram tão fortes, possivelmente, devido ao teor de extrativos no cerne se apresentar mais elevado do que no alburno.

O alburno apresentou correlações mais fortes, todas classificadas de acordo com Pallant (2007), como de alta intensidade (faixa de concentração entre 0,50 a 1,0 ou -0,50 a -1,0), com exceção da contração tangencial. Todas as correlações foram significativas. Isso explica que 73% da variação da contração radial no alburno pode ser explicada pela variação da massa específica dessa mesma posição radial.

Os coeficientes de correlação demonstram correlações positivas entre massa específica e contração tangencial, radial, volumétrica. No entanto, para a anisotropia as correlações com a massa específica foram negativas, ou seja, a anisotropia está inversamente correlacionada com a massa específica.

A contração radial, volumétrica e a anisotropia para o alburno estão fortemente correlacionadas, ou seja, essas variáveis exercem grande influência.

3.6 CONCLUSÕES

De acordo com os objetivos estabelecidos e com os resultados encontrados são estabelecidas as seguintes conclusões:

- A madeira de *Cryptomeria japonica* apresentou baixos valores de extrativos.
- A madeira de *C. japonica* foi classificada como leve ou de baixa massa específica.
- A madeira de *C. japonica* apresentou anisotropia de contração média de 1,87, o que indica boa estabilidade dimensional e classifica sua madeira como de qualidade normal, sem tendência a empenamentos.
- De acordo com a variação radial, as propriedades químicas da madeira foram superiores para o cerne, e apresentaram diferenças estatísticas em relação ao alburno, com exceção do pH e da lignina.
- A avaliação da massa específica em relação a posição radial indicou que o alburno apresenta massa específica básica superior ao cerne.
- A madeira do alburno apresentou-se mais estável que a madeira do cerne.
- Em geral, não foram constatadas fortes correlações entre a massa específica e as propriedades de retratibilidade.

3.6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, N. F. de. **Avaliação da qualidade da madeira de um híbrido de *Pinus elliottii* var. *elliottii* x *Pinus caribaea* var. *hondurensis* para produção de lâminas e manufatura de compensados**. 116 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Setor de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente - EGP**. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

BRAND, M. A.; MUÑIZ, G. I. B. de. Influência da época de colheita e da estocagem na composição química da biomassa florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 1, p. 66–78, 2012.

CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Setor de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. de. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* Don. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 913–920, 2009.

CARVALHO, P. E. R. Novas alternativas para reflorestamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 11, n. 60, p. 66 - 67, 2001.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 137 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

COLODETTE, J. L. Estudo das características da madeira e da polpa kraft da *Cryptomeria japonica* D. Don. In: CONGRESSO ANUAL DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL, 15., 1982, São Paulo. Anais. São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1982. p. 139-153.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 458**. Maderas – Selección y colección de muestras. 1972.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 461**. Determinación del peso específico aparente. 1972.

COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. **COPANT 462** – Método de determinación de la contracción. 1972.

DIAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, P. V. dos; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M. de; LATORRACA, J. V. de F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais

para uso em movelaria. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 93–107, 2013.

DOBNER JÚNIOR, M.; VAGAES, T. C.; HIGA, A. R. Aproveitamento do germoplasma de *Cryptomeria japonica* da estação experimental de Rio Negro , PR , visando a produção de sementes. **Floresta**, v. 43, n. 3, p. 363–372, 2013.

DOWNES, G. M. A. **Sampling plantation *Eucalyptus* for wood and fibre properties**. Collingwood: CSIRO, 1997. 132 p.

DURLO, M. A.; MARCHIORI, J. N. C. **Tecnologia da madeira: Retratabilidade**. Santa Maria: 1992.

EHARA, K.; SAKA, S.; KAWAMOTO, H. Characterization of the lignin-derived products from wood as treated in supercritical water. **Journal of Wood Science**, v. 48, n. 4, p. 320–325, 2002.

FENGEL, D. WEGENER, G. **Wood Chemistry, ultrastructure reactions**. Berlin, 1989, 612 p.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Chapter 10 - Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. **Wood Handbook - Wood as an engineering material**, chapter 10, p. 1–24, 2010.

GHOFRANI, M.; MIRKHANDOUZI, F. Z.; ASHORI, A. Effects of extractives removal on the performance of clear varnish coatings on boards. **Journal of Composite Materials**, v. 0, n. 0, p. 1–6, 2015.

GURGEL FILHO, O. A. **O comportamento florestal das coníferas exóticas**. Silvicultura em São Paulo, São Paulo, v. 3, n. 3, p. 129 - 188, 1964.

HASEGAWA, M.; TAKATA, M.; MATSUMURA, J.; ODA, K. Prospects for within-tree variation of the acoustoelastic behaviors in Japanese cedar. **NDT and E International**, v. 49, p. 57–63, 2012.

HILLIS, W. E. **Distribution, Properties and Formation of Some Wood Extractives**. Wood Science and Technology, v. 5, p. 272–289, 1971.

HO, C.; WANG, E. I.; YU, H.; YU, H.; SU, Y. Compositions and antioxidant activities of essential oils of different tissues from *Cryptomeria japonica* D . Don. **Forestry Research Quarterly**, v. 32, n. 1, p. 63–76, 2010.

ISHIGURI F, MARUYAMA S, TAKAHASHI K, ABE Z, YOKOTA S, ANDOH M, YOSHIZAWA N. Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*) by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. **Journal Wood Science**, v. 49, p.135–139. 2003. doi:10.1007/s100860300021.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

JOHNS, W. E.; NIAZI, K. A. Effect of pH and buffering capacity of wood on the relation time of urea formaldehyde resin. **Wood and Fiber Science**, v. 12, n. 4, p. 255–263, 1980.

KOFUJITA, H.; MICHIKAZU, O.; KOUETSU, T.; YASUSHI, K.; YOSHIKI, H. A diterpene quinone from the bark of *Cryptomeria japonica*. **Phytochemistry**, v. 61, n. 8, p. 895–898, 2002.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Springer Verlag. p.154-283. 1975.

LAMPRECHT, H. **Silvicultura nos trópicos: ecossistemas florestais e respectivas espécies arbóreas – possibilidades e métodos de aproveitamento sustentado**. Rossdorf: TZ – Verl.- Ges. 343 p. 1990.

LIMA, C. K. P. MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123–129, 2007.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, MORI, C. L. S. de O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 73–77, 2008.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. Nova York, Van N. Reinhold, 1992, 454p.

MATSUMURA, Y.; MURATA, Y.; IKAMI, Y.; OHMORI, M.; MATSUMURA, J. Application of the wood properties of large-diameter Sugi (*Cryptomeria japonica*) logs to sorting logs and sawing patterns. **Journal of Wood Science**, v. 59, p. 271–281, 2013.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245p.

NAKAJIMA K, YOSHIMOTO T, FUKUZUMI T. Substances inhibit- ing growth of shiitake mycelium in sugi wood (*Cryptomeria japonica* D. Don). **Mokuzai Gakkaishi** 26:698–702.1980.

NÉRI, A. C. **Parâmetros de corte na usinagem de madeiras de reflorestamento**. 154 f. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) - Setor de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NISGOSKI, S. **Identificação e caracterização anatômica macroscópica das principais espécies utilizadas para laminação na região de Curitiba - PR**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1999.

NURMI, J. Measurement and evaluation of wood fuel. **Biomass and Bioenergy**, v. 2, n. 1-6, p. 157–171, 1992.

PALLANT, J. SPSS survival manual. **Journal of Advanced Nursing**, v. 36, p. 478–478, 2007.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill Book, 1980. 722 p.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da Madeira do Cedrinho Japonês**. 2003.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para a produção de painéis colados lateralmente**. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REZENDE, M. A. de; SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. **IPEF**, v. 1, n. 48/49, p. 133–141, 1995.

ROCHA, M. P. ***Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus dunnii* Maiden como fontes de matéria prima para serrarias**. 185 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2000.

SELBO, M. L. **Adhesives bonding of wood**. Was., DC. FPL – FS – USDA, Technical Bulletin, n.1512, aug. 1975.

SELLERS, J. R. T. **Plywood adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1985. 661 p.

SHIBUTANI, S.; TAKATA, K.; DOI, S. Quantitative comparisons of antitermite extractives in heartwood from the same clones of *Cryptomeria japonica* planted at two different sites. **Journal of Wood Science**, v. 53, n. 4, p. 285–290, 2007.

SILVA, J. R. M. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden**. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SJÖSTRÖM, E. **Wood chemistry: fundamentals and applications**. 2. ed. San Diego: Academic Press, 293 p., 1993.

SOUZA, M. O. A. de.; SILVA, J. de C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Arvore**, v. 33, p. 751–758, 2009.

STEWART, H. A.; POLAK, D. J. Relating specific gravity and mechanical properties of hardwoods to machining defects. **Forest Products Journal**, Madison, v. 35, n. 10, p. 69-72, 1975.

SUDIYANI, Y.; TSUJIYAMA, S.; IMAMURA, Y.; TAKAHASHI, M.; MINATO, K.; KAJITA, H.; Chemical characteristics of surfaces of hardwood and softwood deteriorated by weathering. **Journal of Wood Science**, v. 45, n. 4, p. 348–353, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 264**. Preparation of wood for chemical analysis. Atlanta, 1997.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 207**. Water solubility of wood and pulp. Atlanta, 1999.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 211**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 212**. One percent sodium hydroxide solubility of wood and pulp. Atlanta, 2002.

TAPPI. TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 222**. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **TAPPI 252**. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. Atlanta, 2002.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY – TAPPI. **TAPPI 257** cm-12: sampling and preparing wood for analysis. In: Tappi test methods. Atlanta, 2012.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 554 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 262 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. 494p. 1991.

YANG, T.; WANG, S.; LIN, C.; TSAI, M. Evaluation of the mechanical properties of Douglas-fir and Japanese cedar lumber and its structural glulam by nondestructive techniques. **Construction and Building Materials**, v. 22, p. 487–493, 2008.

CAPÍTULO 4

ANÁLISE DAS OPERAÇÕES DE APLAINAMENTO E LIXAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*

4.1 INTRODUÇÃO

O conhecimento sobre a estrutura da madeira, os parâmetros de usinagem e acabamento são imprescindíveis para compreender as relações que resultam em qualidade do produto final. Esse conhecimento está ligado às propriedades físicas, anatômicas, químicas e mecânicas da madeira, e será específico de acordo com a espécie, com a árvore, com o sítio e também com o local do tronco de onde a amostra foi retirada.

No que tange as propriedades da madeira, existem alguns fatores que podem ocasionar alterações na qualidade da superfície usinada, como a presença de materiais inorgânicos, alto teor de resina, porosidade, dimensões das fibras, orientação da grã e presença de nós.

Pelo fato de cada espécie possuir propriedades diferenciadas, é importante adequar essas características a utilização do produto final. Um produto de maior valor agregado demanda maquinário e parâmetros de usinagem específicos, uma preparação da madeira bem executada, ou ainda, tratamentos que modifiquem alguma de suas características.

Os móveis produzidos com madeira sólida devem preservar o aspecto estético original da madeira, ressaltando sua coloração, grã e textura, priorizando a utilização de produtos de acabamento que sirvam a esse propósito. No entanto, as madeiras do gênero *Pinus* e *Eucalyptus* muitas vezes são tonalizadas para mudarem seu aspecto, deixando-a rebuscada e valorizada.

Para chegar ao produto final, são realizadas operações de usinagem, que servem inclusive para a preparação da superfície antes da aplicação do produto de acabamento. As operações de usinagem consistem na furação, fresamento, lixamento, aplainamento e nos cortes, sendo que o aplainamento e o lixamento são as principais no que tange a preparação de superfície.

De modo geral, o aplainamento consiste em eliminar grandes diferenças e uniformizar a superfície da madeira. Um aplainamento realizado inadequadamente pode prejudicar as operações posteriores e até mesmo inutilizar a madeira.

O lixamento é uma operação de usinagem essencial, que consiste em preparar a superfície da madeira para a aplicação de acabamento e amenizar marcas deixadas pelo aplainamento e de depressões provenientes da anatomia da madeira.

De maneira geral, os estudos realizados sobre as operações de lixamento e aplainamento são escassos. Nota-se dessa forma, a necessidade em se aprimorar os estudos de preparação de superfície, buscando auxiliar a indústria de acabamentos e usinagem de madeira.

A espécie utilizada no estudo foi a *Cryptomeria japonica*, a qual constitui florestas de plantio experimental no Sul e Sudeste do Brasil e florestas plantadas por todo o mundo. Essa espécie apresenta potencial para indústria madeireira e moveleira, no entanto, não constam estudos publicados sobre ela na área de usinagem, sendo, portanto, necessário o desenvolvimento de trabalhos nesta linha temática.

4.2 OBJETIVOS

4.2.1 Objetivo geral

Avaliar as operações de aplainamento e lixamento na superfície da madeira de *Cryptomeria japonica*.

4.2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o efeito da velocidade de avanço sobre a operação de aplainamento da madeira de *Cryptomeria japonica*.

- Avaliar o comportamento da madeira de *Cryptomeria japonica* frente ao processo de lixamento com lixas de diferentes granulometrias.

- Avaliar a qualidade superficial com relação à posição radial nas operações de aplainamento e lixamento.

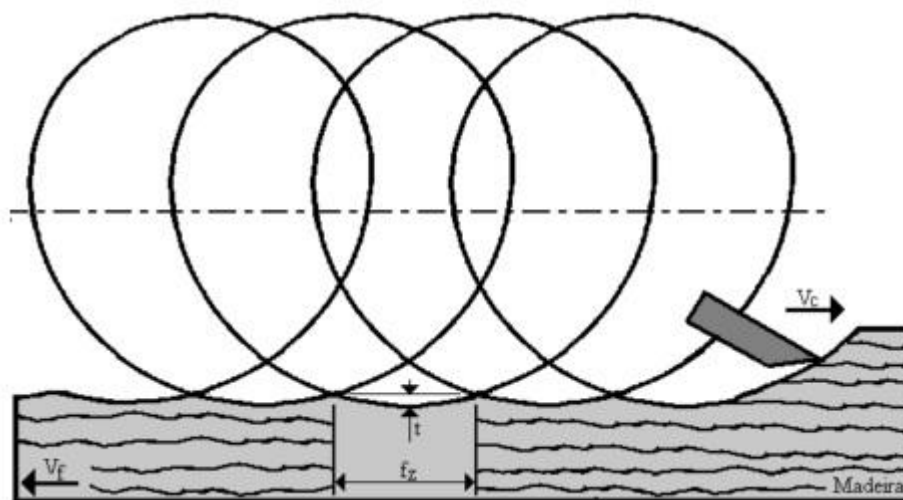
4.3 REVISÃO DE LITERATURA

4.3.1 Conceitos de usinagem

A usinagem da madeira consiste no processo de modificar a forma geométrica de uma peça fisicamente por meio da remoção progressiva de cavacos, a qual pode abranger os processamentos primário e secundário, com o objetivo de alcançar a qualidade e a precisão de corte (PALERMO et al., 2015).

A qualidade da usinagem pode ser classificada de duas maneiras: a primeira, conforme a Figura 10, por meio de valores normativos da usinagem, como o cálculo do avanço por dente (f_z) ou a profundidade do arco ciclóide (t); a segunda maneira inclui a parâmetros como a presença de falhas na superfície, geradas pela presença dos distintos tipos de células, suas diferentes dimensões e orientações (SILVA, 2002b).

FIGURA 10 - VALORES NORMATIVOS DE UM APLAINAMENTO.



Sendo f_z = avanço por dente, t = profundidade do arco de ciclóide, v_c = velocidade de corte das facas e v_f = velocidade de avanço da peça de madeira.

FONTE: Adaptação de WEISSENSTEIN, 2000 (SILVA, 2002).

A usinagem apresenta algumas características que podem afetar a qualidade da superfície da madeira, como a imprecisão de corte da máquina e as condições da ferramenta (TIBÚRCIO, 2009).

Palermo (2010) corrobora que as condições de usinagem são estabelecidas em razão do material a ser usinado e da ferramenta utilizada, portanto, quanto melhor a usinabilidade do material e a resistência ao desgaste da ferramenta, maiores serão os avanços e as velocidades de corte. De acordo com Baptista (2002), a usinabilidade não é uma característica intrínseca do material, mas um efeito da interação do material com a usinagem da madeira.

Durante o processo de corte, os parâmetros de usinagem afetam a qualidade de superfície, as forças de corte e o consumo de energia. Esses parâmetros podem ser alterados para melhorar a produtividade, para reduzir o consumo de material bruto, aumentando a qualidade dos produtos de madeira por um processo contínuo de corte (AGUILERA; MARTIN, 2001).

Segundo Bonduelle (2001), em estudos de revisão de literatura de usinagem, relatando sua relação com a qualidade e os custos, é recomendável utilizar o avanço por dente para as operações de usinagem entre 1 mm à 1,8 mm, pois esse é o intervalo que apresenta o menor desgaste de ferramenta, produzindo a melhor qualidade de corte. Conforme o mesmo autor, o avanço de 1 mm produz um acabamento de melhor qualidade para o aplainamento, porém o desgaste será mais intenso em relação ao avanço de 1,8 mm.

De acordo com Palermo (2010), as operações de usinagem abrangem as operações de serrar, aplainar, fresar, lixar, tornear e furar, no entanto, Zamarian, Alburquerque e Matos (2012) ressaltam que as operações de usinagem mais relevantes são: o destopo, o aplainamento, o lixamento, o corte, o fresamento e as furações.

4.3.2 Aplainamento e lixamento

O aplainamento também pode ser chamado de fresamento periférico, e consiste na remoção de cavacos na preparação da superfície (LUCAS FILHO, 2004). Possui a finalidade de obter superfícies perfeitamente uniformes e planas, e pode ser executado com uma ou mais lâminas fixas a um cilindro girante (BIANCHI, 1996). A qualidade da superfície aplainada tende a ser melhor quando realizada no sentido a favor da grã (DIAS JÚNIOR et al., 2013).

As características da madeira aplainada estão em razão da qualidade de corte, a qual é diretamente relacionada com as marcas da faca por centímetros

(DAVIS, 1962; KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006). Watai (1995), Silva (2002) e Silva et al. (2009) corroboram que um aplainamento bem executado elimina a necessidade de lixamento.

Segundo Crump (1992), Watai (1995) e Silva (2002), o lixamento de painéis é uma operação de usinagem e acabamento essencial no beneficiamento da madeira e tem por finalidade compensar as irregularidades presentes na superfície usinada destacando sua beleza natural, portanto, é uma atividade que implica em maior tempo de beneficiamento da madeira, além de ser necessária cautela para não comprometer a precisão dimensional das peças. As superfícies lixadas também podem apresentar fibras arrancadas e arrepiadas pela ação abrasiva (MARTINS et al., 2011a). O processo de lixamento consiste em um método de desgaste abrasivo adequado para otimizar a qualidade de superfície da madeira. Recomenda-se sempre seguir o sentido das fibras no momento de executar o lixamento, evitando danificar as mesmas e assim, comprometer o processo (ALVES et al., 2010).

De acordo com Koch (1964), Tibúrcio (2009) e Alves et al. (2010), pode-se dividir o lixamento em duas etapas (as quais podem ser sucessivas ou não) : a primeira está relacionada à regularização da superfície usinada anteriormente, ou à redução de imperfeições drásticas geradas por ondulações e batidas para uma nova superfície plana e uniforme, a segunda categoria refere-se à preparação de superfície antes da aplicação de produtos de acabamento, reduzindo assim a profundidade das marcas do próprio lixamento.

Conforme Gurău et al. (2009) e Ferreira (2013), o processo de lixamento tem também o intuito de remover superfícies onde ocorreu a pré-cura do adesivo (pois essas superfícies normalmente são fibrosas, porosas e de menor resistência mecânica), calibrar a espessura de painéis e melhorar a qualidade da superfície para aplicação de pintura e acabamentos em geral.

A prática do lixamento é realizada com o auxílio de lixas, as quais são compostas de um meio abrasivo com substâncias de origem mineral e dureza elevada, um suporte onde esse abrasivo é ancorado, adesivo para fixação do abrasivo, e lubrificantes que facilitam e melhoram o desempenho de lixas (FAZANO, 1989).

As lixas são constituídas de grãos de diferentes naturezas, como: o quartzo, a granada, o óxido de alumínio, o carboneto de silício e o óxido de silicone (CRUMP, 1992; WATAI, 1995). Crump (1992) corrobora que o óxido de alumínio é utilizado para potencializar o lixamento e é indicado para lixamento pesado e o carboneto de silício para reduzir os riscos profundos. No entanto, Watai (1995) indica que os mais utilizados para madeira são as lixas de granada vermelha e óxido de alumínio.

Segundo Watai (1995) e Remade (2010) deve-se seguir uma ordem nas granulometrias de lixa, iniciando-se pelas lixas mais grossas, as quais tem a função de remover as maiores imperfeições, seguidas pelas médias e por fim as de grãos mais finos, adaptando-se o tipo de lixa a espécie de madeira trabalhada. Em relação à sequências de lixas, Watai (1995) recomenda, que elas devem ser progressivas, não ultrapassando 50% em relação à abrasividade da lixa anterior. Esse procedimento é muito importante, pois elimina os riscos causados pelas lixas de maior abrasividade, os quais ficam evidentes no processo posterior ao lixamento em que bases seladoras ou vernizes são aplicados, prejudicando o aspecto do móvel ou piso (NOBRE et al., 2012). Crump (1992) corrobora que cada grão de lixa é designado e compatível com uma utilização diferente. De modo geral, quando a granulometria da lixa aumenta, a tendência é que a rugosidade diminua (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006; MARTINS et al., 2011a).

Em termos da lixadeira, Kollmann, Kuenzi e Stamm (1975) e Saloni, Lemaster e Jackson (2005) ressaltam que a velocidade de avanço é inversamente proporcional a quantidade de madeira removida em uma operação de lixamento com cinta. Segundo estudos de Pahlitzsch (1970), em lixadeiras de cinta a velocidade da cinta exerce pouco efeito na qualidade do acabamento superficial, portanto, a qualidade não é influenciada pela pressão aplicada à cinta. Em contrapartida, Saloni, Lemaster e Jackson (2005) e Tibúrcio (2009) observaram que a taxa de remoção de material aumenta à medida que a pressão aplicada aumenta.

No que tange as diferenças entre a superfície lixada e a superfície aplainada, Sulaiman et al. (2009) e Martins (2011) corroboram que as superfícies usinadas com lixa são caracterizadas pela presença de microfibrilas arrancadas e levantadas das paredes das células por ação abrasiva.

Ainda de acordo com os mesmos autores, as propriedades da superfície lixada apresentam características distintas daquelas obtidas por meio do aplainamento, pois a superfície lixada apresenta ranhuras características da ação abrasiva. Além disso, os lumes das células são preenchidos pelo pó produzido durante o processo, o qual dificulta a penetração de adesivos e produtos de acabamento. Já a superfície aplainada, apresenta maior quantidade de células abertas como vasos e fibras (COOL; HERNÁNDEZ, 2011; MARTINS et al., 2011a).

4.3.3 Rugosidade superficial da madeira

Para se entender a rugosidade superficial é necessário conceituar a superfície, a qual consiste na delimitação de um corpo com o meio ambiente (FAZANO, 1989).

Fazano (1989) define a rugosidade como um conjunto de três conceitos: textura superficial, textura primária e secundária. Ainda de acordo com o mesmo autor, a textura superficial consiste no conjunto de irregularidades de uma superfície; a textura primária ou rugosidade consiste nas irregularidades provenientes de um processo de usinagem ou erro microgeométrico, e a textura secundária ou ondulação é caracterizada pelas irregularidades oriundas de vibrações ou deflexões causadas pela usinagem ou tratamento térmico, sendo que a rugosidade pode surgir sozinha ou superposta à ondulação.

A rugosidade da superfície da madeira pode ser afetada por vários fatores como: a variação anual dos anéis de crescimento, a massa específica da madeira, a estrutura celular, o lenho tardio e juvenil (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006). Esta característica não exerce impacto somente no aspecto visual do produto, mas também na adesão e penetração dos acabamentos para madeira (VITOSYTE; UKVALBERGIENE; KETURAKIS, 2015).

Gurău (2014) corrobora que a superfície perfeitamente plana, mesmo não sendo aparente visualmente, contém a rugosidade, mas também depressões, que não caracterizam a usinagem, os quais deveriam ser excluídos da análise com o auxílio de um filtro de procedimento compatível com a superfície estudada, porém, deve se reconhecer que se esses filtros não forem compatíveis podem resultar em resultados com distorções. Portanto, é necessário desconsiderar as irregularidades

provenientes da anatomia da madeira e se ater somente a rugosidade após o lixamento (TIBÚRCIO, 2009).

Segundo Hendarto et al. (2006) e Tibúrcio (2009), a avaliação da rugosidade da madeira pode apresentar muitas dificuldades (Quadro 1), em razão da falta de uniformidade da madeira e do perfil de rugosidade da superfície que é afetado pela estrutura anatômica da madeira, influenciando a análise da qualidade de superfície. Tibúrcio (2009) corrobora que não existe um método totalmente confiável de análise da qualidade da superfície da madeira, independente de suas propriedades.

QUADRO 1 - TÉCNICAS E CARACTERÍSTICAS DA AVALIAÇÃO DA SUPERFÍCIE LIXADA.

| Técnica | Vantagens | Desvantagens |
|----------------------|--|--|
| Apalpamento mecânico | Alta resolução | Baixa velocidade, método de contato, análise bidimensional, pode acabar usinando a superfície, insensível a fibras individuais e expostas. |
| Pneumático | Sensível a fibras individuais, análise tridimensional. | Sensível à porosidade, método de contato, não fornece o perfil real. |
| Emissão Acústica | Análise tridimensional, sensível às fibras, alta velocidade. | Método de contato, não fornece o perfil real. |
| Ótica | Alta velocidade, sem contato, alta resolução. | Análise bidimensional insensível a fibras individuais expostas. |

FONTE: (TIBÚRCIO, 2009).

Silva (2002) e Tibúrcio (2009) observaram que algumas espécies apresentam maior dificuldade de lixamento que outras espécies. Madeiras que apresentam rugosidade excessivamente elevada necessitam obrigatoriamente de aplainamento antes do lixamento para uma superfície uniforme.

Conforme Silva (2002), Gurău, Mansfield-Williams e Irle (2005) e Tibúrcio (2009), as superfícies de madeira lixada podem apresentar irregularidades provenientes de sua anatomia, bem como rugosidades mais elevadas oriundas do processo de corte e lixamento. Martins et al. (2011) corroboram que as irregularidades de origem normalmente anatômica não devem ser consideradas após se realizar a usinagem.

A poeira proveniente do lixamento é outro parâmetro muito importante, o qual pode influenciar na qualidade da superfície, bem como o tamanho do grão da lixa utilizada, além de que essas variações podem resultar em aumento de custos ou desperdício de material (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006).

4.3.4 Propriedades da madeira que afetam a usinagem

A madeira é um material heterogêneo, anisotrópico, apresenta propriedades físicas e mecânicas distintas nos planos radial, tangencial e longitudinal, além de possuir inúmeros fatores a serem considerados em processos de usinagem e beneficiamento (CARVALHO; SILVA; LATORRACA, 2010). Uma das vantagens da madeira frente a outros materiais como metais e plásticos é a usinabilidade, justamente por apresentar essas características tão exclusivas (SOFUOGLU; KURTOGLU, 2014). Watai (1995) corrobora que a madeira além de ser fácil de ser trabalhada é vantajosa economicamente.

Para Downes (1997), todas as propriedades da madeira variam no sentido da medula à casca, e sua magnitude se altera de acordo com a espécie e a idade da árvore. Os estudos sobre a variação das propriedades na posição radial pode proporcionar melhoria no aproveitamento e nas operações de usinagem (SILVA et al., 2009).

As propriedades físicas são únicas de acordo com a espécie e dependem da posição da amostra ao longo do tronco, por essa razão é importante conhecer o comportamento de cada espécie a fim de viabilizar o processamento da madeira buscando otimizar os processos e aumentar a qualidade (DIAS JÚNIOR et al., 2013). Como exemplo, pode-se citar os esforços de corte, que para madeiras de alta massa específica pode ser cinco vezes maior, quando comparado às madeiras de baixa massa específica (BRAGA, 2011).

O teor de umidade ideal para se realizar a usinagem deve ser constante e em torno de 8% de umidade, e, quando este se aproxima do ponto de saturação das fibras, o desempenho da usinabilidade cai para metade (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; NÉRI, 2003). Silva et al. (2009) corroboram que madeiras usinadas com alto teor de umidade podem apresentar defeitos de usinagem devido à contração (principalmente no caso de madeiras de massa específica mais elevada ou madeiras propensas a instabilidade dimensional).

No que tange a massa específica, para madeiras de alta massa específica a usinabilidade se torna mais complexa do que para madeiras de baixa massa específica (SOUZA et al., 2009). Já as madeiras de baixa massa específica, por exemplo, podem apresentar dificuldades de usinagem para as operações de corte transversais à grã (ZAMARIAN; ALBUQUERQUE; MATOS, 2012).

Zamarian, Albuquerque e Matos (2012) ressaltam que na usinagem, a pouca homogeneidade do material lenhoso e a baixa massa específica da madeira na região da medula resultam em baixa qualidade de corte.

A rugosidade depende também da direção do corte, tangencial ou radial, e estudos realizados por Vitosyte, Ukvalbergiene e Keturakis (2015), mencionam que o corte radial produz rugosidade menor que o tangencial.

Em relação às propriedades anatômicas, Silva et al. (2005) e Silva et al (2009) corroboram que à medida que o diâmetro interno das fibras aumenta, o desempenho da qualidade da superfície usinada diminui, os quais após a usinagem podem ficar salientes, prejudicando a qualidade de superfície.

As resinas encontradas em algumas espécies e o formato dos vasos podem influenciar a qualidade da usinagem, além de que, as resinas podem aderir à ferramenta de corte e causar defeitos no aplainamento, gerando marcas (NÉRI, 2003). De acordo com Panshin e De Zeeuw (1980), a sílica é um constituinte dos materiais inorgânicos que pode ser prejudicial à usinagem, pois pode tender a desgastar as ferramentas de corte.

4.3.5 Defeitos e problemas encontrados na preparação de superfície

A superfície da madeira pode apresentar defeitos de origem anatômica e também mecânica que são chamados de indentações, e são causados pela compressão ou pela quebra de fibras, as quais formam “dentes” ou depressões (CRUMP, 1992).

No que tange os problemas relacionados à usinagem, Lucas Filho (2004), Souza (2007), Souza et al. (2009) e Dias Júnior et al. (2013) ressaltam que as propriedades físicas, químicas e mecânicas podem dificultar a padronização das operações, alterando o desempenho dos processos.

Os principais defeitos que ocorrem durante o processo de usinagem estão vinculados às variações das propriedades da madeira, as características de funcionamento das máquinas, as ferramentas de corte e o treinamento da mão de obra (SILVA; LIMA; TRUGILHO, 2007; AGUILERA; MARTIN, 2001).

No aplainamento, um defeito que pode ocorrer é a aderência das resinas presentes na madeira à ferramenta de corte, causando danos à superfície, ou marcas ou “*Chipmarks*” (NÉRI, 2003; BRAGA, 2011).

No caso de se utilizar uma velocidade de corte elevada, a plaina pode deixar a superfície marcada, a qual pode ser amenizada com o auxílio de lixas, promovendo uma aderência perfeita do produto indicado para o acabamento (WATAI, 1995; SILVA, 2002; NOBRE et al., 2012).

A operação de lixamento é uma operação demorada, a qual pode utilizar mais que o dobro do tempo de usinagem, no entanto, é uma operação importante, pois se não for realizada corretamente pode prejudicar parcialmente a precisão dimensional em que o produto final deve se encontrar, pois um lixamento intenso pode resultar em uma superfície desigual (CRUMP, 1992; BONDUELLE, 2001; NOBRE et al., 2012).

De acordo com Sulaiman et al. (2009) e Martins et al. (2011), as lixas com grãos mais finos podem gerar superfícies polidas ou vítreas, ao ponto de dificultar a penetração dos produtos de acabamento na madeira. Gurău (2014) corrobora que a superfície lixada pode conter irregularidades causadas por partículas de grão abrasivo a qual arranha a madeira criando rachaduras em sua superfície.

De acordo com Crump (1992) e Watai (1995), uma maneira de amenizar os defeitos presentes na superfície antes de aplicar o produto de acabamento é por meio de calor e vapor, para que as fibras se expandam cobrindo lacunas e depressões voltando a sua posição original, no entanto, este método só se faz eficaz se as fibras não estiverem muito quebradas.

4.3.6 Qualidade de usinagem

Hecker e Becker (1995) e Aguilera e Martin (2001) indicam que alguns fatores que afetam a qualidade superficial são a largura dos anéis de crescimento, massa específica e ângulo das fibras, os quais devem estar ajustados para que não resultem em uma usinagem de baixa qualidade.

Os produtos de maior valor agregado, de acordo com Silva et al (2009), demandam alta qualidade da superfície, para isso, a usinagem deve ser bem executada, para assim aprimorar e facilitar os processos de acabamento superficial e tornar o processo mais econômico, visto que dessa maneira não seria necessário refazer a usinagem ou aumentar a quantidade de produtos de acabamento necessários. No caso da colagem, o lixamento e aplainamento também exercem influência, pois madeiras com superfícies suavizadas pela ação do lixamento resultam em uma linha de cola com elevadas propriedades de resistência (KILIC; HIZIROGLU; BURDURLU, 2006).

Em relação à aplicação de acabamentos, as superfícies lixadas demandam menor consumo de material de acabamento, produzem superfícies de qualidade superficial superior, além da maior aderência de produtos de acabamento como os vernizes (ALVES et al., 2010).

Segundo Silva et al. (2009) e Zamarian, Albuquerque e Matos (2012), a qualidade de corte pode ser influenciada pela velocidade de avanço, a qual é escolhida em razão da rotação do motor, pois quando a velocidade de avanço da peça é lenta, a peça leva mais tempo para ser usinada e a qualidade de acabamento melhora, no entanto, o número de gumes ativos de corte e a frequência de rotação do eixo porta-ferramenta da máquina também exercem influência sobre a usinagem.

Zamarian, Albuquerque e Matos (2012) relatam que velocidades muito elevadas ou demasiadamente baixas podem escurecer a superfície de corte, fato que reduz a qualidade da usinagem.

Para se alcançar a melhoria no acabamento superficial através do aplainamento, lixamento e da aplicação de acabamentos, é necessário atender exigências ambientais e econômicas, que para a etapa de acabamento pode ocorrer pela diminuição da quantidade de produto utilizada, empregando produtos naturais, a utilização de massas niveladoras, ou ainda com a aplicação de um selador antes do verniz (FARIAS; WEINGAERTNER; HOFFMEISTER, 2001).

4.4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.4.1 Material utilizado

Para o desenvolvimento deste capítulo foi utilizada a madeira de *Cryptomeria japonica* cuja origem e descrição do material está apresentada no Cap. 03, pg. 44.

Das 55 tábuas, foram seccionadas e selecionadas 20 peças com orientação radial e 20 peças com orientação tangencial.

As peças tiveram suas dimensões padronizadas quanto ao comprimento e espessura (65,0 x 2,0 cm, respectivamente), e a largura foi apenas refilada devido à variabilidade dos diâmetros das árvores, a qual foi mantida para o máximo aproveitamento das diferenças entre cerne e alburno nas amostras. A maior parte das peças apresentava cerne e alburno na mesma amostra e poucas peças eram constituídas exclusivamente de alburno.

4.4.2 Operações de usinagem e lixamento

Após a padronização, as amostras foram mensuradas para a determinação da massa específica aparente, conforme a norma EN 323 (2002) – Determinação da massa específica, e então submetidas aos processos de usinagem por aplainamento e lixamento.

O aplainamento foi realizado nas duas faces da amostra, em plaina da marca Frommia, com velocidade do motor de 3.000 rotações por minuto (RPM), velocidade do sistema de 5.600 RPM e duas facas, sendo uma face processada com velocidade de avanço igual a 12 m/min., e a outra face com velocidade de 6 m/min. O avanço por dente foi de 2 mm e 1 mm, respectivamente. A diferença entre velocidades de avanço foi utilizada para verificar a qualidade de usinagem em relação às diferentes posições radiais (cerne e alburno).

Após a qualificação da superfície gerada pela operação de aplainamento, as peças foram submetidas ao processo de lixamento conforme a Figura 11, onde este foi efetuado na face aplainada com velocidade mais baixa (6 m/min.).

FIGURA 11 - PEÇAS DE *Cryptomeria japonica* DURANTE E APÓS O LIXAMENTO.

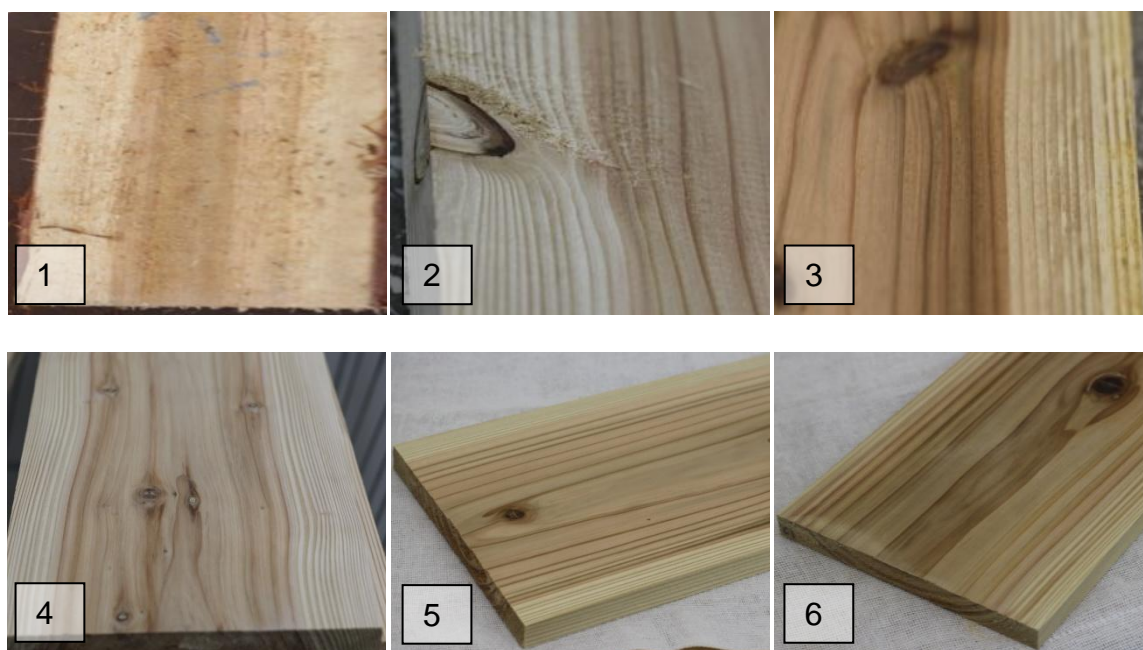


Fonte: A autora (2016).

O lixamento foi realizado com lixas de sete granulometrias diferentes e sequenciais: 60, 80, 100, 120, 150, 180, 220 e 280.

De forma resumida, as etapas da preparação de superfície podem ser observadas na Figura 12.

FIGURA 12 - ETAPAS DA PREPARAÇÃO DE SUPERFÍCIE DE *Cryptomeria japonica*. 1 - Madeira antes de ser aplainada; 2 - Madeira aplainada; 3 - Madeira lixada com granulometria 100; 4 - Madeira lixada com grão 180; 5 - Madeira lixada com grão 220; 6 - Madeira lixada com grão 280.



Fonte: A autora (2016).

4.4.3 Avaliação da qualidade superficial

A qualidade superficial foi avaliada por meio da medição da depressão utilizando-se um rugosímetro digital, conforme a Figura 13, onde foram coletadas 40 leituras por peça, sendo 20 leituras para a região do cerne e 20 para a região do alburno.

FIGURA 13 - DETERMINAÇÃO DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL COM RUGOSÍMETRO DIGITAL.



Fonte: A autora (2016).

Além da determinação da depressão resultante da operação de aplainamento, bem como pelo uso de lixas de diferentes granulometrias, foi realizada a avaliação da superfície de forma visual, por meio de notas de apreciação, as quais variaram de 1 a 3, com critérios pré-determinados de avaliação, conforme o Quadro 2.

QUADRO 2- DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DAS NOTAS DE APRECIAÇÃO PARA A AVALIAÇÃO DO APLAINAMENTO E DO LIXAMENTO.

| Operação | Nota | Características |
|--------------|------|---|
| Aplainamento | 1 | Aplainamento considerado bom. Superfície razoavelmente lisa, pouca ou nenhuma fibra arrepiada. |
| Aplainamento | 2 | Aplainamento considerado mediano. Partes da peça com fibras arrepiadas, textura áspera, presença de grã felpuda, pouca ou nenhuma fibra arrepiada, indentações. |
| Aplainamento | 3 | Aplainamento considerado ruim. Superfície bastante marcada, muita quantidade de fibras arrepiadas, muita indentação (Batidas), textura áspera. |

| | | |
|-----------|---|---|
| Lixamento | 1 | Lixamento considerado bom. Superfície perfeita, sem a presença de nenhum defeito, superfície brilhante (mesmo com a presença de nós). |
| Lixamento | 2 | Lixamento considerado mediano. Superfície com pouca ou nenhuma marca de lixa ou plaina, pouco ou nenhum risco superficial, poucas ou nenhuma fibras arrepiadas, superfície brilhante. |
| Lixamento | 3 | Lixamento considerado ruim. Superfície levemente opaca, textura áspera, com maior presença de fibras arrepiadas, depressões ou indentações. |

Para atribuir as notas de apreciação, foram requisitados 21 avaliadores, sendo estes, profissionais da área de tecnologia e usinagem da madeira.

4.4.4 Análise estatística

Os resultados foram submetidos aos métodos de *Kolmogorov-Smirnov* e *Shapiro-Wilks*, no entanto, não foi constatada normalidade de dados. Desta maneira, utilizou-se como alternativa para a comparação de tratamentos a análise não-paramétrica de *Kruskal-Wallis*, baseada na estatística H. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico *Statgraphics Centurion XVI*, ao nível de 95% de probabilidade. Para complementar a análise e verificar se existe diferença mínima significativa entre os tratamentos, realizou-se uma comparação múltipla entre as médias dos tratamentos.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1 Efeito da velocidade de aplainamento sobre a rugosidade superficial

A Tabela 5 apresenta os resultados da depressão causada pela operação de aplainamento nas diferentes velocidades avaliadas.

TABELA 5 - EFEITO DA VELOCIDADE DE APLAINAMENTO SOBRE A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Velocidade de aplainamento | Espécie ¹ (mm) | Cerne ² (mm) | Alburno ² (mm) |
|----------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 6 m/min | 0,1119 (51,72) | 0,0948 B b (45,93) | 0,1276 B a (50,63) |
| 12 m/min | 0,1168 (54,72) | 0,1021 A b (47,87) | 0,1288 A a (55,15) |
| p-valor | 0,000 | | |
| F | 47,86 | | |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (A, B) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliadas as velocidades de aplainamento; Letras minúsculas (a, b) indicam comparação de médias na linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

É possível observar que na menor velocidade o aplainamento apresentou um valor médio de 0,1119 mm para a espécie, de 0,0948 mm para o cerne e de 0,1276 mm para o alburno, a rugosidade foi superior no alburno devido as fibras se arrepiarem com maior facilidade. Em relação à velocidade mais rápida, o aplainamento apresentou um valor médio de 0,1168 mm para a espécie, 0,1021 mm para o cerne e 0,1288 mm para o alburno.

Em relação às velocidades de aplainamento, observou-se que a velocidade de 12 m/min. apresentou uma rugosidade mais elevada do que a velocidade de 6 m/min., possivelmente o que pode ter ocorrido devido à diferença de passo do dente para cada condição, ou seja, a lâmina incide por menos vezes quando a velocidade de aplainamento é maior, ressaltando as fibras e deixando a madeira com a superfície mais áspera.

Foram constatadas diferenças estatísticas entre as posições radiais e entre velocidades de aplainamento.

Os valores foram mais elevados para o alburno possivelmente devido a quantidade de extrativos no alburno ser menor do que no cerne (SILVA, 2002a).

Burdurlu et al. (2005) e Tibúrcio (2009) estudaram a influência da velocidade de avanço no aplainamento e notaram que a menor velocidade proporcionou melhor acabamento superficial. Essa informação também foi observada no presente estudo, visto que o aplainamento a 6 m/min. apresentou menor rugosidade. Com o aumento da velocidade de avanço no aplainamento, o resultado consistiu em superfícies grosseiras (TIBÚRCIO, 2009).

De acordo com Kilic, Hizioglu e Burdurlu (2006) e Moulin et al. (2015), a rugosidade da madeira esta interligada com os parâmetros de usinagem, o que se comparado com o trabalho de Moulin et al. (2015), no qual a velocidade de avanço utilizada foi de 5 m/min. para a madeira de *Eucalyptus microcorys* de 37 anos, e produziu uma superfície com rugosidade de 1,93 mm, já a maior velocidade de avanço da madeira, de 10 m/min., resultou em uma superfície de maior rugosidade, com uma depressão de 2,87 mm.

Silva et al. (2008) relataram para o aplainamento de *Eucalyptus grandis* valores médios inferiores aos valores de rugosidade encontrados neste estudo, os quais foram 0,014 mm para o aplainamento realizado com velocidade de 6 m/min. e de 0,016 mm para a usinagem a realizada com velocidade de 15 m/min. Esses valores foram inferiores a *Cryptomeria japonica* possivelmente em função do avanço por dente utilizado por Silva et al. (2008) ter sido ligeiramente menor ou igual ao utilizado no presente estudo, pois conforme os mesmos autores, quanto menor o avanço por dente, melhor será a qualidade de usinagem. Soragi (2009) acrescenta que as altas velocidades de avanço podem provocar maiores levantamentos de fibras (SORAGI, 2009).

No entanto, ao contrário do que Silva et al. (2008) sugerem, que aplainamentos realizados com velocidades de avanço baixas eliminam a necessidade de executar a operação de lixamento, as amostras de *Cryptomeria japonica* demonstraram a necessidade de realizar o lixamento após o aplainamento, visto que as superfícies apresentavam irregularidades provenientes da operação de usinagem e fibras levantadas.

4.5.2 Efeito da granulometria da lixa sobre a rugosidade superficial

A Tabela 6 apresenta os valores médios da depressão causada por diferentes granulometrias de lixas sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*.

TABELA 6 - EFEITO DA GRANULOMETRIA DA LIXA SOBRE A RUGOSIDADE SUPERFICIAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Granulometria da lixa | Espécie ¹ (mm) | Cerne ² (mm) | Alburno ² (mm) |
|-----------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 60 | 0,0815 b (61,44) | 0,0740 D c (60,81) | 0,0888 D a (65,58) |
| 80 | 0,0821 b (52,63) | 0,0729 D a (56,14) | 0,0896 D a (62,16) |
| 100 | 0,0666 b (50,76) | 0,0717 C a (44,30) | 0,0590 C b (54,76) |
| 120 | 0,0603 b (51,93) | 0,0659 BC a (44,08) | 0,0549 BC b (59,24) |
| 150 | 0,0569 b (48,07) | 0,0610 AB a (43,72) | 0,0525 AB b (52,25) |
| 180 | 0,0565 a (55,29) | 0,0608 AB a (41,56) | 0,0521 AB b (60,93) |
| 220 | 0,0558 a (54,42) | 0,0538 A a (51,68) | 0,0577 A a (56,39) |
| 280 | 0,0482 a (59,25) | 0,0471 A a (58,75) | 0,0492 A a (61,19) |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (A, B, C, D) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliadas as velocidades de aplainamento; Letras minúsculas (a, b, c) indicam comparação de médias na linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

O menor valor obtido para a operação de lixamento foi para a lixa 280 e o maior valor foi observado para a lixa de granulometria 80. Os resultados de maior depressão se concentraram na lixa de grão 60, os quais foram de 0,0815 mm para a espécie, 0,0740 mm para o alburno e 0,0888 mm para o alburno. Entre as granulometrias 180 e 280 não foram constatadas diferenças em relação à espécie.

Para as duas últimas granulometrias, no caso 220 e 280, não foram constatadas diferenças estatísticas em ambas as posições radiais e os resultados foram próximos entre cerne e alburno. O que foi observado possivelmente devido ao fato de a superfície estar mais uniforme, lisa, ou seja, não havia mais a necessidade de se utilizar granulometrias superiores à 220.

Em relação à posição radial, o cerne apresentou menor rugosidade que o alburno. A lixa de granulometria 280 (para o cerne) resultou no menor valor de depressão superficial, em que a rugosidade diminuiu gradualmente entre a lixa 60 até 280, apresentando o resultado de 0,0471 mm para a maior granulometria.

O estudo realizado por meio do rugosímetro demonstra em números as diferenças que podem ser notadas a olho nu. Pelo fato de a madeira de *Cryptomeria japonica* ser uma madeira de boa trabalhabilidade as diferenças já são notadas no aplainamento o qual reduz sensivelmente a quantidade de fibras arrepiadas na superfície da madeira, conforme a Figura 14. No entanto, a madeira aplainada ainda apresenta superfície áspera com comparação com a madeira lixada, em razão das fibras sobressalentes.

FIGURA 14 - COMPARAÇÃO DE QUALIDADE DA SUPERFÍCIE SEM PREPARAÇÃO COM A SUPERFÍCIE APLAINADA E LIXADA DE *Cryptomeria japonica*. 1 – Superfície sem usinagem. 2 – Superfície aplainada. 3 – Superfície lixada.



Fonte: A autora (2016).

Os resultados do presente estudo condizem com as conclusões de Kilic, Hiziroglu e Burdurlu (2006) e Martins et al. (2011), pois à medida que a granulometria da lixa aumentava, a rugosidade diminuía e a superfície se apresentava mais uniforme.

A partir da lixa de granulometria 150, a coloração da madeira se tornou mais nítida, principalmente para o cerne, onde a superfície apresentou uma diminuição de valores de rugosidade, e visualmente se tornou mais lisa, homogênea, brilhante e a textura mais fina. Os valores coletados para o alburno para essa granulometria foram superiores ao cerne. Kilic, Hiziroglu e Burdurlu (2006) relataram em seu estudo, que com o aumento da granulometria da lixa, superfícies se tornaram mais uniformes e menos rugosas, e as diferenças significativas de rugosidade foram observadas nas medições até o grão de lixa 180. No presente estudo, as diferenças de rugosidade foram observadas até a granulometria de lixa 220.

Moura e Hernández (2006) utilizaram a lixa de grão 150 e não constataram diminuição significativa da rugosidade da superfície, somente os danos superficiais amenizados. Já no presente estudo, as diferenças foram obtidas para todas as lixas, inclusive para a 150.

Alves et al. (2010), realizaram lixamento da madeira de *Eucalyptus grandis* com lixas de granulometrias 80, 100, 120, e observaram que entre as lixas de grão 80 e 100 houve uma pequena diminuição da rugosidade, mas quando comparados com os desempenhos da lixa de grão 120, a rugosidade apresentou um aumento nos valores medidos. Em comparação com o trabalho de Alves et al. (2010), as lixas apresentaram somente uma diminuição da rugosidade superficial com o aumento da granulometria utilizada.

Os resultados de Nobre et al. (2012) mencionam que a madeira de *Toona ciliata* apresentou melhor desempenho na lixa de grão 150, se fazendo desnecessário o emprego de lixas de maior granulometria. Estes autores ainda complementam que na lixa de grão 320 a rugosidade apresentou uma leitura menor, porém sem apresentar diferenças estatísticas.

Assim como Koch (1964), Tibúrcio (2009) e Alves et al. (2010) ressaltam, o lixamento realmente auxiliou na regularização da superfície usinada e amenizou os defeitos contidos na superfície da madeira.

Os estudos de superfície da madeira apresentaram altos coeficientes de variação, estudos realizados anteriormente por Silva (2002) e Tibúrcio (2009) relatam mesma situação, devido à rugosidade natural da madeira.

Uma outra observação interessante e que merece ser destacada refere-se ao efeito dos extrativos da madeira desta espécie durante o processo de lixamento, onde foram observadas grandes incrustações na lixa para todas as granulometrias utilizadas, conforme a Figura 15.

FIGURA 15 - INCRUSTAÇÕES NA LIXA PROVENIENTES DE EXTRATIVOS DA *Cryptomeria japonica*.



Fonte: A autora (2016).

4.5.3 Avaliação por meio de notas de apreciação

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos por meio do questionário realizado com avaliadores para coletar informações sobre a qualidade do aplainamento e do lixamento em função das diferentes posições radiais.

TABELA 7 – VALORES MÉDIOS DAS NOTAS DE APRECIAÇÃO PARA O APLAINAMENTO E LIXAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* EM FUNÇÃO DA POSIÇÃO RADIAL.

| Processo | Espécie ¹ | Alburno ² | Cerne ² |
|--------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| Aplainamento | 2,27 A (33,47) | 2,48 A b (26,24) | 2,12 A b (32,75) |
| Lixamento | 1,73 B (43,52) | 1,86 B a (40,26) | 1,65 A a (44,68) |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (A, B) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliadas as operações de usinagem; Letras minúsculas (a, b) indicam comparação de médias na

linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

De modo geral, foi verificado por meio dos avaliadores que a operação de lixamento apresentou qualidade superior ao aplainamento, representados pelas notas menores.

De acordo com a Tabela 7, nota-se que o cerne apresentou uma nota melhor que o alburno, pois quanto menor a nota, melhor a qualidade de superfície. Assim como afirmam Néri (2003) e Lopes (2008), sabe-se que o alburno apresentou obstrução das células ocorrendo arrepiamento das fibras.

Em relação às operações de usinagem, o aplainamento apresentou uma qualidade de usinagem inferior ao lixamento, visto que suas notas foram superiores ao lixamento, pois visualmente a superfície aplainada apresentou um acabamento grosseiro, mais fibras arrepiadas, principalmente em torno dos nós, além de ser mais áspera e opaca em relação ao lixamento. Isso ocorre por que no aplainamento a ferramenta incide com maior velocidade de avanço e o gume incide mais vezes na madeira, quebrando e arrepiando as fibras, já no lixamento, o acabamento é minucioso, a sequência de lixas melhora a qualidade de superfície gradualmente, garantindo uma superfície com qualidade superior ao aplainamento, com base em uma análise visual e de contato.

Para a madeira de *Cryptomeria japonica*, o ideal seria utilizar uma velocidade de aplainamento menor, como a utilizada no presente estudo, de 6 m/min., com posterior lixamento, cuja sequência de lixas vai até a granulometria de 220. Após este número de lixa não são mais evidenciadas diferenças significativas na qualidade de superfície, não sendo usar lixas de maiores granulometrias, e consequentemente onerar o processo de preparação de superfície.

Silva (2002b) utilizou as notas de apreciação para avaliar a usinagem em *Eucalyptus grandis* e observou que a região próxima à medula apresentou uma qualidade superior em relação à região mais próxima à casca para as operações de desempenho, desengrosso, moldura de topo e furação para dobradiça, no entanto, para o acabamento, as notas foram superiores para as amostras provenientes das regiões mais externas da árvore.

Silva (2002b) também utilizou *Eucalyptus grandis* e notas de apreciação para avaliar as operações de usinagem, e em relação ao aplainamento, notou-se que a medida que aumentava a idade das árvores que originaram as amostras, sua

qualidade melhorava. Segundo este mesmo autor, as madeiras com maior idade (20-25 anos) foram mais estáveis, uniformes e não apresentaram diferenças estatísticas entre si.

Soragi (2009) avaliou a usinagem de *Toona ciliata* em razão do avanço por dente, e observou que as amostras usinadas com o menor avanço por dente foram as que obtiveram a melhor qualidade e a menor quantidade de defeitos aparentes. A maior parte das amostras que receberam as menores notas (que representam a melhor qualidade) estava localizada na região mais próxima à casca, e as amostras mais próximas à medula receberam, em sua maioria, notas iguais 4, no entanto, esses resultados são contrários com os resultados obtidos pelo presente estudo, onde o cerne apresentou menor rugosidade superficial que o alburno.

Na literatura, não foram encontrados estudos sobre as características de usinagem e preparação da superfície da *Cryptomeria japonica*, portanto, demonstrou-se a necessidade de desenvolver estudos como este, os quais podem apresentá-la como uma espécie potencial para a indústria moveleira. Esta justificativa ainda vai de encontro aos relatos de Carvalho, Silva e Latorraca (2010), que afirmam que para cada espécie, existem parâmetros específicos de corte, pois estes podem influenciar economicamente a produção, amortizando perdas e gastos com repetições de etapas de usinagem, além de melhorar o acabamento superficial da madeira.

4.6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos no presente capítulo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- No processo de aplainamento, houve influência da velocidade de avanço e da posição radial sobre a qualidade de superfície.
- No processo de lixamento as granulometrias de lixa de melhor desempenho para a superfície da *Cryptomeria japonica* foram as 220 e 280.
- A granulometria de lixa que apresentou os melhores resultados, ou seja, a menor depressão, foi o grão 280, no entanto, não foi constatada diferença estatística significativa em relação às lixas 140, 180 e 220.
- Em relação à posição radial, o cerne apresentou os menores valores para a rugosidade, tanto para o aplainamento quanto para o lixamento.
- A posição radial cerne e a operação de lixamento apresentaram a melhor qualidade de superfície com base na apreciação de notas.

4.7 REFERÊNCIAS

AGUILERA, A.; MARTIN, P. Machining qualification of solid wood of *Fagus silvatica* L. and *Picea excelsa* L.: cutting forces, power requirements and surface roughness. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 59, n. 6, p. 483 – 488, 2001.

ALVES, M. C. de S.; GONÇALVES, M. T. T.; VARASQUIM, F. M. F. de A.; SANTIAGO, L. F. F.; VARANDA, L. D.; BIANCHI, E. C. Análise da influência da velocidade de corte, da granulometria da lixa e da pressão específica de corte no processo de lixamento. VI CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA. **Anais...**Paraíba: 2010.

BAPTISTA, A. L. de B. Aspectos metalúrgicos na avaliação da usinabilidade de aços. **Revista Escola Minas**, v. 55, n. 2, p. 8, 2002.

BIANCHI, K. E. **Concepção de uma máquina CNC para medição e usinagem de peças em madeira**. 141f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Setor de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.

BONDUELLE, A. F. **Usinagem, qualidade e custo**. Revista da Madeira, v. 61, 2001.

BRAGA, P. P. de C. **Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de *Coffea arabica***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira) - Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

BURDURLU, E.; USTA, I.; ULUPINAR, M.; AKSU B.; ERARSLAN T. The effect of the number of blades and the grain size of abrasives in planning and sanding on the surface roughness of European black pine and Lombardy poplar. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 29, n. 4, p. 315 - 322, 2005.

CARVALHO, A. M.; SILVA, B. T. B.; LATORRACA, J. V.F. Avaliação da usinagem e caracterização das propriedades físicas da madeira de mogno africano. **Cerne**, v. 16, n. suplemento, p. 106–114, 2010.

CEN - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 323**. Determinação da massa volúmica. Bruxelas, 2002.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R. E. Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. **Forests Products Journal**, v. 61, n. 5, p. 372–380, 2011.

CRUMP, Derrick. **The complete guide to wood finishes**. Simon & Schuster, 1992.

DAVIS E. M. **Machining and related characteristics of United States hardwoods**. Washington, DC: Technical bull. n. 1267. USDA; 1962, 68p.

DIAS JÚNIOR, A. F.; SANTOS, P. V. dos; PACE, J. H. C.; CARVALHO, A. M. de; LATORRACA J. V. de F. Caracterização da madeira de quatro espécies florestais para uso em movelaria. **Revista Ciência da Madeira - RCM**, v. 4, n. 1, p. 93 - 107, 2013.

DOWNES, G. M. A. **Sampling plantation Eucalypts for wood and fiber properties**. Collingwood: CSIRO, 1997. 132 p.

FARIAS, M. G.; WEINGAERTNER, W. L.; HOFFMEISTER, H. W. Análise da força de usinagem no fresamento em altas velocidades de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii*. I CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO. **Anais...**2001.

FAZANO, C. A. T. V. **Tintas: Métodos de controle de pinturas e superfície**. Brasil. Hemus. 1989.287p.

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptus saligna* com adição de casca de noz macadâmia**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Materiais) - Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FOLLRICH, J.; VAY, O.; VEIGEL, S.; MULLER, U. Bond strength of end-grain joints and its dependence on surface roughness and adhesive spread. **The Japan Wood Research Society**, p. 7, 2010.

GURĂU, L. MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. CIONCA, M. Form error removal of sanded wood surfaces. **European Journal Wood Products**., v. 67, p. 219 - 227, 2009.

GURĂU, L. The influence of earlywood and latewood upon the processing roughness parameters at sanding. **Pro Ligno**, v. 10, n. 3, p. 26–33, 2014.

GURĂU, L.; MANSFIELD-WILLIAMS, H.; IRLE, M. Processing roughness of sanded wood surfaces. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 63, p. 43–52, 2005.

HECKER, M.; BECKER, G. Surface roughness of Douglas fir veneer as a result of silviculture management. In: IUFRO XX WORLD CONGRESS. Tampere, Finland. August. 1995. p. 6 - 12.

HENDARTO, B.; SHAYAN, E.; OZARKA, B.; REX, C. Analysis of roughness of a sanded wood surface. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 28, p. 775 - 780, 2006.

KILIC, M.; HIZIROGLU, S.; BUDURLU, E. Effect of machining on surface roughness of wood. **Building and Environment**, v. 41, n. p. 1074–1078, 2006.

KOCH, P. **Wood Machining Processes**. Ronald Press, New York. 1964.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. 703 p. 1975. Springer-Verlag, Berlin.

LOPES, M. C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LUCAS FILHO, F. C. **Análise da usinagem da madeira visando a melhoria de processos em indústrias de móveis**. 176 f. Tese (Doutorado em Gestão do Design e do Produto) - Setor de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

MARTINS, S. A.; FERRAZ, J. M.; SANTOS, C. M. T.; DEL MENEZZI, C. H. S.; SOUZA, M. R.. Efeito da usinagem na rugosidade da superfície da madeira de *Eucalyptus benthamii*. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 2, p. 135–143, 2011.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage para a produção de painéis colados lateralmente**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

MOULIN, J. C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M.; BOSCHETTI, W. T. N.; CASTRO, J. P.; NOBRE, J. R. C. Rugosidade da superfície usinada da madeira de reação de eucalipto. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA. **Anais...**2015.

MOURA, L. F. DE; HERNÁNDEZ, R. E. Effects of abrasive mineral, grit size and feed speed on the quality of sanded surfaces of sugar maple wood. **Wood Science and Technology**, v. 40, n. 6, p. 517 - 530, 2006.

NÉRI, A. C. **Parâmetros de corte na usinagem de madeiras de reflorestamento**. 154 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Setor de Construções Rurais e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

NOBRE, J. R. C.; SILVA, J. R. M. da; MOTTA, J. P.; SILVEIRA, T. A. da; LEITE, V. H. S. S. Metodologias de lixamento para otimização da qualidade a superfície de *Toona ciliata*. ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Anais...**2012.

PAHLITZSCH, G. The international state of research in the field of wood sanding. **Als roh - und werkstoff**, v. 28, n. 9, p. 329 - 342, 1970.

PALERMO, G. P. de M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W . Hill ex- Maiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado**. 249 f. Tese (Doutorado em Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais) - Setor de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2010.

PALERMO, G. P. de M. LATORRACA, J. V. de F.; CARVALHO, A. M. de; GARCIA, R. A. Avaliação da superfície da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden tratada termicamente. **Ciência Florestal**, v. 25, n. 1, p. 145 - 152, 2015.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. New York: McGraw-Hill Book, 1980.

REMADE. Técnicas de lixamento melhoram acabamento para madeira. **Revista da Madeira**, v. 122, p. 1 - 2, 2010.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood. **Forest Products Journal**, v. 55, n. 12, p. 35 - 42, 2005.

SILVA, J. D. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden, de diferentes idades, visando sua utilização na indústria moveleira**. 181 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002a.

SILVA, J. R. M. da. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* hill ex. Maiden**. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002b.

SILVA, J. R. M. da; MUÑIZ, G. I. B. de; LIMA, J. T.; BONDUELLE, A. F. Influência da morfologia das fibras na usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, v. 29, n. 3, p. 479 - 487, 2005.

SILVA, J. R. M. DA; LIMA, J. T.; TRUGILHO, P. F. Usinabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis* em diferentes regiões da medula à casca. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 25 - 31, 2007.

SILVA, J. R. M., BRAGA, P. P. C., MARTINS, M., FILIPE, A. P. Identificação de parâmetros de rugosidade para qualificação de pisos de *Eucalyptus grandis*. **Anais ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA**, v. 11, 2008.

SILVA, J. R. M. da; MARTINS, M. OLIVEIRA, G. M. V.; BRAGA, P. P. de C. Parâmetros de qualidade da usinagem para determinação dos diferentes usos da madeira de *Eucalyptus*. **Cerne**, v. 15, n. 1, p. 75 - 83, 2009.

SOFUOGLU, S. D.; KURTOGLU, A. Some machining properties of four wood species grown in Turkey. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 38, p. 420–427, 2014.

SORAGI, L. de C. **Qualidade de superfícies usinadas em madeira de *Toona ciliata* M. Roem**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Setor de Processamento e Utilização da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

SOUZA, M. A. M. de. **Metodologias não destrutivas para avaliação das tensões de crescimento em *Eucalyptus dunnii* Maiden**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

SOUZA, M. O. A. de; SILVA, J. de C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Arvore**, v. 33, p. 751 - 758, 2009.

SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; SUBARI, K. LIANG, C. K. Effect of sanding on surface roughness of rubberwood. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 209, n. 8, p. 3949 - 3955, 2009.

TIBÚRCIO, U. F. DE O. **Medição e análise do acabamento superficial da madeira de eucalipto na usinagem de torneamento cilíndrico e lixamento**. 102 f. Tese (Doutorado em Materiais) - Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2009.

VITOSYTĖ, J.; UKVALBERGIENĖ, K.; KETURAKIS, G. Roughness of sanded wood surface : an impact of wood species , grain direction and grit size of abrasive material. **Materials Science (Medžiagotyra)**, v. 21, n. 2, p. 1392 - 1320, 2015.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamentos de madeiras**, 102 p. São Paulo: IPT, 1995.

WILKOWSKI, J.; ZEREBIEC, B.; CZARNIAK, P. Analysis of surface roughness in wood milling. ANNALS OF WARSAW UNIVERSITY OF LIFE SCIENCES - FORESTRY AND WOOD TECHNOLOGY. **Anais...**2010.

ZAMARIAN, E. H. C.; ALBUQUERQUE, C. E. C. DE; MATOS, J. L. M. DE. Usinagem da madeira de bracatinga para uso na indústria moveleira. **Floresta**, v. 42, n. 3, p. 631 - 638, 2012.

WEISSENSTEIN, C. Usinagem, condições da ferramenta decide bom acabamento. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 57, p.30 - 32, 2000.

CAPÍTULO 5

AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO SUPERFICIAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*

5.1 INTRODUÇÃO

A indústria moveleira representa um nicho muito importante da produção de bens e serviços do Brasil, pois é um produto versátil que pode atender a todas as classes sociais, bem como todos os gostos e tendências. Guinski (2016) relata que em 2016, o Brasil foi considerado o 5º maior produtor de móveis do mundo, representando 3,2% da produção mundial.

Segundo Guinski (2016), a indústria de móveis no Brasil decaiu cerca de 4,6% na produção em volume de peças, no ano de 2016, no entanto, já é notada uma melhora nas exportações de 5,7%, e uma participação de 3,9% na produção nacional para o mesmo ano.

A maior parte dos móveis são produzidos a partir de painéis particulados ou de fibras, como o MDF e o MDP, em razão de sua versatilidade, utilização de madeiras reflorestadas no processo produtivo, e seu custo-benefício. Contudo, a indústria de móveis de madeira sólida é muito importante em muitos polos moveleiros, como por exemplo, Bento Gonçalves - RS e Ubá - MG, devido à sua resistência, durabilidade, tradicionalidade e seu aspecto estético valorizando a madeira, a qual pode ser proveniente de plantios florestais ou manejo sustentável.

Em relação às madeiras provenientes de florestas plantadas, novas alternativas têm sido estudadas além dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*. Uma dessas alternativas é a espécie *Cryptomeria japonica*, muito difundida na Europa e Ásia como se descrito no Capítulo 2. Segundo Pereira, Higa e Shimizu (2003) e Carneiro, Bittencourt e Muñiz (2009) essa espécie apresenta forte potencial de utilização para painéis, portas e móveis.

A madeira desta espécie naturalmente apresenta um aspecto estético interessante, e os produtos de acabamento podem realçar as suas características, como a coloração, a textura, a grã, e em alguns casos, até mesmo os nós vivos, dependendo do aspecto desejado.

A aplicação de produtos de acabamento, além de realçar as características estéticas, têm como finalidade proteger a madeira frente aos diferentes usos, bem como melhorar algumas de suas propriedades, como a resistência à agentes xilófagos, fungos, umidade, calor e intempéries.

O mercado oferece uma ampla variedade de produtos de acabamento, os quais proporcionam um acabamento com características estéticas variadas ou apenas protegem mantendo seu aspecto original. A escolha destes produtos está relacionada principalmente à utilização final do bem ou produto a ser acabado, e ao gosto ou preferência do consumidor.

Desta forma, é importante selecionar o produto de acabamento para cada tipo de superfície, pois cada um possui uma finalidade e propriedades diferentes de aderência, brilho, abrasão, impacto, resistência química, entre outros. Além disso, a seleção adequada do produto de acabamento, juntamente com o processo de aplicação, evita a ocorrência de defeitos no produto, como descascamento, fissuras ou trincas, bolhas, etc.

Com base na falta de estudos com a madeira de *Cryptomeria japonica* e na escassez de pesquisas referentes ao acabamento superficial da madeira e produtos de madeira, o presente estudo busca contribuir com informações relativas ao acabamento superficial desta espécie, bem como com a linha temática.

5.2 OBJETIVOS

5.2.1 Objetivo geral

O trabalho apresentou como objetivo geral a avaliação do acabamento superficial da madeira de *Cryptomeria japonica*.

5.2.2 Objetivos específicos

O trabalho apresentou como objetivos específicos:

- Avaliar o efeito de quatro diferentes produtos de acabamento sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar as propriedades de aderência, brilho, abrasão, impacto e resistência química dos diferentes produtos de acabamento.

- Identificar qual o acabamento de maior preferência dentre os aplicados sobre a madeira de *Cryptomeria japonica* a partir de uma pesquisa de aceitação.

5.3 REVISÃO DE LITERATURA

5.3.1 Mercado de vernizes e acabamentos

As primeiras indústrias de tintas e vernizes surgiram no Brasil em 1900, com as indústrias Tintas Hering e Usina São Cristovão (FAZENDA, 2008).

O primeiro verniz a base água foi patenteado nos Estados Unidos em 1865 e começou a ser utilizado no Brasil em 1960, o qual era produto promissor frente aos demais, por apresentar baixa toxicidade, menos emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (VOC) e ser menos poluente (FAZENDA, 2005).

A indústria brasileira de vernizes, esmaltes, lacas e produtos semelhantes representa mercado relevante, pois em 2013, seu Produto Interno Bruto (PIB) alcançou 2,5 bilhões de reais (FIESP, 2014). Em 2014, o setor apresentou um crescimento de 3,2% na receita operacional líquida (WEG, 2014).

O Brasil representa um dos seis maiores mercados mundiais de produtos de acabamento, possui tecnologia de ponta e competência técnica comparável aos países mais avançados em tecnologia (ABRAFATTI, 2015), dados que são apresentados mais detalhadamente na Tabela 8.

TABELA 8 - DADOS SOBRE O MERCADO DE TINTAS E VERNIZES EM 2015.

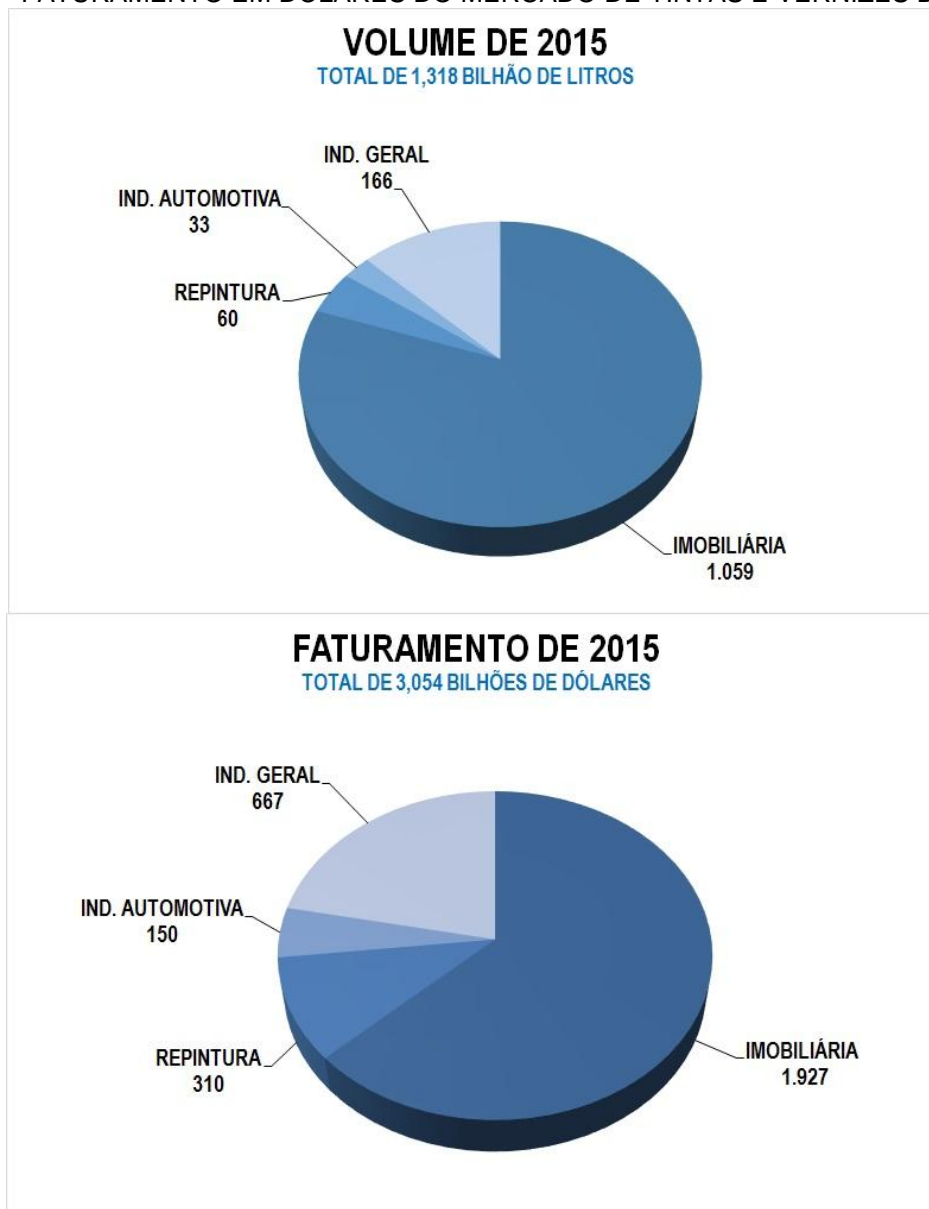
| Dados | Resultado |
|---------------------|------------------------|
| Faturamento líquido | US\$ 3,054 bilhões |
| Volume produzido | 1,318 bilhão de litros |
| Exportações | US\$ 151 milhões |
| Importações | US\$ 157 milhões |

FONTE: ABRAFATI (2015).

Em relação ao ano de 2014, é possível dizer que o faturamento caiu de US\$ 4,075 bilhões para US\$ 3,054 bilhões, bem como o volume produzido, que foi de 1,397 bilhão de litros para 1,318 bilhão de litros (ABRAFATI, 2015). Apesar da queda nos números do mercado, ainda é um mercado de grande relevância.

Conforme é possível observar na Gráfico 1, a maior parte do mercado de vernizes, cerca de 80%, é voltada para o mercado de tintas imobiliárias, no entanto, 12,59% é referente ao mercado de vernizes para indústria em geral, a qual inclui os vernizes para madeira, ocupando o segundo lugar em setor de produção.

GRÁFICO 1 - DADOS SOBRE VOLUME DE VERNIZES PRODUZIDO EM LITROS E O FATURAMENTO EM DÓLARES DO MERCADO DE TINTAS E VERNIZES DE 2015.



FONTE: ABRAFATI (2015).

5.3.2 Preparação de superfície

A aplicação de produtos de acabamento ressalta os aspectos estéticos da madeira, e as irregularidades presentes na superfície da madeira acabam sendo ressaltadas com a aplicação de vernizes, razão pela qual se faz necessária a preparação da superfície, deixando-a livre de imperfeições (WATAI, 1995; SOUZA, 2007).

De acordo com Fazano (1989), o revestimento está ligado ao substrato onde será aplicado, e por isso é importante à limpeza da superfície para amenizar irregularidades como incrustações organometálicas, ferrugem, trincas, poros, rugosidade, poeira, oleosidade e sais. Crump (1992) corrobora que a poeira não deve aderir à peça, caso contrário, poderá prejudicar a aderência do revestimento.

Segundo Watai (1995) e Ugulino e Hernández (2015), uma das técnicas de preparação de superfície é o lixamento, o qual é realizado antes, durante e após a aplicação do produto de acabamento, com lixas de diferentes granulometrias, e considerado bem acabado quando consegue remover todas as marcas, defeitos e depressões. Ainda de acordo com Watai (1995), quando se efetua o lixamento após a aplicação de acabamentos, é importante o uso de lixas finas para que a superfície seja capaz de refletir luz obliquamente.

5.3.3 Técnicas de acabamentos

De acordo com Dilik et al. (2014), existem diversos métodos de aplicação e avaliação sendo desenvolvidos para uma utilização mais efetiva e racional dos acabamentos com a tecnologia atual. Em relação às técnicas de aplicação, Silva et al. (2010) relatam que os produtos para acabamento da madeira podem ser aplicados de maneira manual, manual mecânica ou somente mecânica.

O método manual compreende a aplicação com o auxílio de uma almofada com estopa, pincel, trincha ou rolo, o método manual mecânico consiste na aplicação via máquinas portáteis como, por exemplo, o tanque de pressão (com pistola), a caneca (com pistola) e o “Airless” (pulverização sem ar, por sucção). Por fim, o método mecânico abrange aplicação com máquinas de maior dimensão como aplicação com rolos, por cortina ou por pistolas em movimento (SILVA et al., 2010).

Uma técnica interessante de acabamento é o envelhecimento artificial, o qual dispõe de poucos estudos efetuados, e é realizada na indústria com o auxílio de jato de areia incidindo sobre a madeira, arraste de correntes, pregos, esponjas de aço, tonalizantes e tingidores (GAMEIRO, 2015).

Segundo Moreschi (2012), uma maneira de envelhecer e escurecer artificialmente madeiras recém-cortadas, dando-lhes um aspecto envelhecido e aumentando o seu valor comercial, é aplicar o tratamento de corrente contínua de ar quente carregado com ozônio, o que produz a secagem e o envelhecimento artificial da madeira ao mesmo tempo, por meio da evaporação de água e a oxidação das substâncias existentes no material lenhoso.

5.3.4 Produtos de acabamento

Os acabamentos superficiais têm a finalidade de proteger e preservar o produto final, bem como torná-lo agradável sob o ponto de vista estético (SOUZA et al., 2009). Guedes (2011) complementa que os acabamentos têm duas funções fundamentais: uma voltada à proteção, ou seja, aos mais diversos fatores feito o ataque de fungos, insetos, umidade, radiação solar ou de produtos químicos, e a outra como uma função estética, tornando a madeira mais agradável ao toque e dando-lhe uma aparência valorizada.

Conforme Custódio e Eusébio (2006), o acabamento pode apresentar como função secundária o aumento da resistência à deterioração biológica, adicionando produtos preservantes ao verniz ou aplicando um produto preservante antes do verniz. Ghofrani, Mirkhandouzi e Ashori (2015) complementam ainda que as superfícies que recebem acabamento são mais resistentes a condições adversas como degradação fotoquímica e alterações dimensionais.

Existem muitos produtos de acabamento destinados para aplicação em madeiras, como as massas para corrigir imperfeições, óleos e ceras para proteger, limpar, hidratar e conservar, seladoras que fecham os poros, uniformizam, nivelam e realçam a grã, os vernizes que realçam o brilho e protegem, e as tintas para alterar a aparência natural por completo (SILVA et al., 2002). Os produtos normalmente utilizados em acabamentos de madeiras são seladoras, *primers*, tintas e vernizes (SILVA et al., 2002a; SILVA et al., 2010).

É possível distinguir os produtos de acabamento observando sua natureza, se são reversíveis ou irreversíveis, os reversíveis consistem nos produtos nitrocelulósicos, obtidos por nitratação, com uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico, de algodão ou polpa de madeira. Por outro lado, os produtos irreversíveis costumam se apresentar na forma de bicomponentes, ou seja, fazem uso de um catalisador químico, são chamados também de produtos sintéticos, e, são representados pelos produtos poliuretânicos, possuindo alta resistência física, mecânica e química (SENAI, 1995).

5.3.4.1 Ceras

Conforme Crump (1992), as ceras são um dos produtos mais antigos de acabamento para madeiras, e é um dos métodos mais tradicionais de proteger este material. Além da finalidade de proteção, promovem o lustre, a conservação e a limpeza da superfície (SILVA et al., 2002). Podem ter origem animal ou vegetal, e são utilizadas como ingredientes de pastas para polimento, assoalhos, substratos metálicos e pintura (FAZANO, 1989).

As ceras mais comuns a serem utilizadas são as de abelha ou carnaúba, as quais são misturadas a turpentina por aquecimento. A cera de carnaúba tende a apresentar maior resistência, e é muito utilizada para o polimento de pisos, porém, sua maior desvantagem é que pode se tornar quebradiça se for polida logo após a aplicação (CRUMP, 1992).

5.3.4.2 Óleos

Os óleos são utilizados para realizar a manutenção dos acabamentos, não apresentam resistência e podem deixar a superfície marcada, mas podem ser misturados ao verniz para melhorar a qualidade da cobertura (CRUMP, 1992).

5.3.4.3 Seladores

A seladora, conforme Fazano (1989) e Dilik et al. (2014), é um produto químico constituído por: resina maleica, hidrocarbonetos aromáticos, cetonas, minerais inertes, alcoóis, ésteres e algodão colódio. Ela possui grande poder de

preenchimento e pode ser encontrada na forma líquida e pastosa (FAZANO, 1989). A seladora possui a finalidade de preparar a superfície corrigindo defeitos do substrato, uniformizando a absorção da superfície, diminuindo o consumo de verniz e aumentando o tempo de vida da pintura (FAZENDA, 2008). Fazano (1989) e Silva et al. (2002a), complementam que os seladores nivelam a superfície, fecham os poros e espaços intercelulares da madeira, aumentam a coesão de superfícies porosas e realçam a grã.

Dilik et al. (2014) corroboram que é importante aplicar uma camada de selador para assegurar as características desejadas da superfície acabada, como a uniformidade, estabilidade e homogeneidade. O uso do produto selador permite que o acabamento apresente uma aderência superior do que se fosse aplicado diretamente na superfície da madeira (ÇAKICIER et al., 2011).

5.3.4.4 Goma-laca

Segundo Crump (1992), a goma-laca é um tipo de verniz selador muito antigo, utilizado pelos egípcios, e que originalmente era extraída da secreção de um besouro que vive em colônias, sua patente foi realizada em 1730 pelos irmãos Etienne e Simon Martin em Paris. É uma resina solúvel em álcool e em algumas cetonas, porém, insolúvel ou parcialmente solúvel em hidrocarbonetos (FAZANO, 1989). Apresenta como desvantagem a fraca adesão e sofre descoloração facilmente (CRUMP, 1992).

Segundo Watai (1995), as lacas são indicadas ao uso interno e apresentam como vantagens a flexibilidade de técnicas, proporciona um acabamento de baixo brilho, busca conservar a cor natural da madeira, necessitam de pouco tempo para curar, apresentam poucos problemas de reparo, facilidade de remoção, são estáveis, duráveis e resistentes a impacto. Ainda segundo este autor, o ideal é que as lacas utilizadas em móveis sejam resistentes ao toque, e devem ter elasticidade para evitar trincas e rachaduras.

5.3.4.5 *Stain*

Um outro produto de acabamento é o *stain*, o qual consiste em um tingidor da madeira, que colore a madeira e difere das tintas em razão de preservar suas características naturais como a grã e os anéis de crescimento (CRUMP, 1992).

Este produto tem por característica a alta penetração na madeira, forma uma película fina, é provido de filtro solar, impermeável, alguns possuem ação preservativa, não apresenta problemas de trincas, o desgaste ocorre por erosão, sendo mais fácil para manutenção (FLORÉZ, 2016).

5.3.4.6 Vernizes

Segundo Fazano (1989), os vernizes consistem em dispersões que podem conter resinas naturais, artificiais, óleos vegetais, secantes, plastificantes, solventes ou diluentes. Guedes (2011) atesta que o verniz é um fluido ou dispersão sem pigmento, utilizado como revestimento protetor ou decorativo para diferentes tipos de superfícies, os quais após a secagem forma uma película de maior espessura, sólida, contínua, homogênea, uniforme, transparente ou translúcida.

Como características do verniz pode-se citar a formação de uma camada lisa, facilidade de aplicação, refletância variável de baixo a alto brilho e a resistência a ação das intempéries (FAZANO, 1989). Custódio e Eusébio (2006) acrescentam que o verniz ideal deve apresentar as seguintes propriedades: flexibilidade, durabilidade, permeabilidade e eventual resistência a fungos.

São incolores, podendo ser naturais ou sintéticos. Podem ser nitrocelulósicos ou a base de água, sendo que os vernizes à base de resina nitrocelulósica são bastante utilizados na indústria moveleira, onde sua preparação é feita pela simples adição de solvente (SENAI, 1995; SILVA et al. 2010).

5.3.4.6.1 Vernizes a base de poliuretano

Conforme Guedes (2011), Çakicier, Korkut e Korkut Sevim (2011) e Clancy's (2016), vernizes a base de poliuretano (PU) apresentam acabamentos de alta resistência á abrasão, dureza, durabilidade, resistência química, resistência térmica e à umidade, teor de sólidos por volta de 45%, transparência e alto brilho, no

entanto, é muito sensível à mudanças climáticas (de umidade e temperatura), possui a cura lenta em relação a outros produtos, e, se o PU utilizado for de natureza aromática, o acabamento pode sofrer amarelamento. Fazano (1989) relata que o acabamento PU pode ser utilizado tanto em ambiente interno quanto externo.

O verniz a base de poliuretano é um dos mais utilizados no acabamento de pisos, e é considerado de difícil aplicação, além de possuir as limitações de ser mais caro e de não permitir retoques de aplicação, exigindo maior treinamento do operador (ÇAKICIER; KORKUT; KORKUT SEVIM, 2011).

5.3.4.6.2 Vernizes a base de nitrocelulose

Os vernizes nitrocelulósicos são obtidos por nitratação, com uma mistura de ácido nítrico e ácido sulfúrico, de algodão ou polpa de madeira (SENAI, 1995). De acordo com Çakicier, Korkut e Korkut Sevim (2011), o verniz de nitrocelulose proporciona um efeito muito mais flexível, um acabamento de maior durabilidade, que pode ser polido até se classificar como alto brilho, porém, esse produto apresenta os inconvenientes de ter a perigosa natureza do solvente: inflamável, volátil e tóxico. Clancy's (2016) menciona que esse acabamento é de fácil reparo, porém apresenta baixo teor de sólidos, em torno 20% de sólidos.

Segundo Losada (2011), os produtos a base de nitrocelulose possuem baixa resistência em relação aos de poliuretano, sendo que não é aconselhável misturar acabamentos com bases diferentes, por exemplo, não é indicado misturar acabamentos com base nitrocelulósica com produtos à base de poliuretano.

Désor et al. (1999) sugerem que substituir o verniz nitrocelulósico pelo verniz base água reduz a emissão de Compostos Voláteis Orgânicos (VOC).

5.3.4.6.3 Verniz à base d'água

O verniz base água se caracteriza por utilizar a água como solvente, não ser inflamável, ter baixa toxicidade, promover a redução de poluentes no ar, ser adaptável às linhas de pintura, porém, possuem as limitações de demandar matérias primas específicas, apresentar baixa variedade de resinas e a secagem mais lenta que outros solventes (CRUMP, 1992; FAZENDA, 2005). Kurtoglu (2000) e Dilik et al. (2014) corroboram que esse acabamento apresenta facilidade de limpeza, boa

resistência a riscos, contudo, pode vir a arrepiar as fibras da madeira e ser pouco resistente a água, calor e solventes.

O produto a base água pode ser comparado aos demais produtos conforme a Tabela 9, onde é possível notar que a porcentagem de solventes orgânicos diminuiu drasticamente nos produtos à base água, todavia, o teor de sólidos e de voláteis se apresenta semelhantes para ambos os produtos.

TABELA 9 - COMPARATIVO ENTRE OS PRODUTOS TRADICIONAIS E O VERNIZ BASE ÁGUA.

| Propriedades | Verniz convencional | Base água |
|---|---|---|
| Teor de sólidos (%) | 30-35 | 35-40 |
| Teor de voláteis (%) | 65-70 | 60-65 |
| Solventes | Xilol - toluol, glicóis, acetato de butila. | Água - glicóis, éteres de glicóis, alcoóis. |
| Teor de solventes orgânicos (%) | 100 | 7 |
| Volume de vapor orgânico/100g de verniz | 15,90 litros/g | 0,92 litros/g |

FONTE: FAZENDA (1989).

5.3.4.6.4 Verniz Copal

O verniz Copal possui origem fóssil, é insolúvel em óleo, solúvel em solventes orgânicos, é um verniz sintético de alta resistência, com acabamento de alto brilho e é indicado para utilização em ambiente interno (FAZANO, 1989).

De acordo com a norma NBR 5846:1976, o verniz copal se caracteriza por ser resinoso, tem a função principal de proteger a superfície, apresenta baixa resistência e superfície entre brilhante e de brilho especular.

Segundo o boletim técnico da Sayerlack (2015), esse é um produto indicado para aplicação de uso interno, em móveis, portas e artesanato.

6.3.4.6.5 Verniz Poliéster

Outro grupo de produtos sintéticos é o “poliéster”, que seca formando uma superfície fosca e que geralmente será lixada e polida posteriormente. É utilizado quando se deseja película de alta espessura e alto brilho, sendo considerado um acabamento vítreo (FAZENDA, 2005).

Os poliésteres também são chamados de resinas alquídicas e são modificados com ácidos graxos, são resinas de maior viscosidade, dureza, resistência química, secagem em menor tempo (FAZENDA, 2005). Clancy's (2016) corrobora que esse acabamento apresenta em torno de 80% de sólidos, alta resistência à abrasão e a deterioração.

5.3.4.6.6 Nanoverniz UV

De acordo com Çakicier, Korkut e Korkut Sevim (2011), o Nanoverniz UV é uma nova alternativa de acabamento, possui poucos estudos realizados, entretanto, possui propriedades de resistência melhores em relação aos vernizes convencionais.

Conforme Clancy's (2016), produtos com cura ultravioleta como o Nanoverniz podem apresentar teor de sólidos de 100%, cura mais rápida que o normal (em segundos), resistência química, à abrasão e a deterioração, mas pode apresentar os inconvenientes de curar somente em UV e dificuldade em obter um acabamento de aspecto fosco.

5.3.5 Defeitos de acabamento

O acabamento pode apresentar vários defeitos de aplicação, originários da preparação da superfície e da natureza da madeira (WATAI, 1995).

Segundo Fazenda (2008), as trincas e a má aderência são provenientes do uso incorreto da massa, utilizada para corrigir imperfeições da madeira, principalmente em portas. O fendilhamento do acabamento também pode ser proveniente da aplicação de uma camada sobre outra que não estivesse completamente seca, assim, a última demão se contrai e abre fendas na sua superfície (OLIVEIRA, 2008).

As indentações são depressões na superfície da madeira causadas pela compressão ou rompimento das fibras, resultando em riscos profundos, elas podem ser amenizadas por meio do vapor, pois as fibras se expandem cobrindo as depressões (CRUMP, 1992).

Fazano (1989) define fendas e bolhas como uma descontinuidade da película, e são provenientes de uma secagem deficiente ou do empenamento do substrato. Oliveira (2008) corrobora que as bolhas não interferem significativamente na resistência mecânica do acabamento a não ser que se rompam, e também podem oriundas do alto teor de umidade, resquícios de poeira após o lixamento ou diluição incorreta do verniz. As bolhas no acabamento podem ser estouradas com jatos de ar (CRUMP, 1992).

As manchas metálicas são provenientes da reação de substâncias do acabamento com substâncias presentes na madeira, como os extrativos, e podem ser removidas com o ácido oxálico juntamente com um alvejante (CRUMP, 1992).

O descascamento, segundo Oliveira (2008), pode ser resultante de um acabamento exposto à umidade perdendo a aderência ou ainda da preparação incorreta da superfície.

Para acabamentos sem homogeneidade da distribuição da camada, pode ser encontrado micro orifícios, os quais são entrada para a penetração de água na madeira, causando defeitos no acabamento. Em função disso, o ideal é que a camada apresente uma espessura mínima de 50 a 75 micrômetros (WATAI, 1995).

De acordo com Oliveira (2008), se a umidade do ar estiver muito elevada ou o verniz utilizado não apresentar uma boa qualidade, o acabamento se tornará viscoso a ponto de não secar, grudando ao toque e não formando o filme.

Outro fator que pode causar avarias no filme de acabamento é a luz ultravioleta, a qual acelera a secagem da película, bem como o intemperismo (GARDNER, 1937). Segundo Zahri et al. (2007) e Sahin e Mantanis (2011), a descoloração da madeira exposta a raios ultravioleta está relacionada ao teor de extrativos e lignina, o que segundo Chang et al. (2010), ocorre pelo fato de a lignina ser o componente que sofre maior influência da absorção de luz ultravioleta, ou fotodegradação, dentre os elementos que constituem a madeira.

Os nós são defeitos da madeira que podem apresentar bolsas de resina em seu interior, e essas produzem um efeito plastificante, podendo enrugar a película,

dificultando a impregnação de acabamento na superfície da madeira e alterando a coloração (OLIVEIRA, 2008).

O filme de acabamento não elimina os defeitos, porém os deixa mais pronunciados (WATAI, 1995).

5.3.6 A qualidade do revestimento

Segundo Dilik et al. (2014), a aplicação de acabamento é uma das etapas finais na produção e representa um custo significativo. Segundo os mesmos autores, um tratamento de superfície eficaz aumenta as propriedades de uso, a qualidade, o rendimento e valoriza o produto.

O acabamento determina o valor econômico de um produto, e em razão disso, é necessário se observar a qualidade do revestimento (SOFUOGLU; KURTOGLU, 2015).

A qualidade de uma superfície pode ser definida pelas condições que a diferencia de outras superfícies, ou seja, a qualidade permite avaliar, aprovar ou recusar o estado final de uma peça (SILVA et al., 2002a; SILVA et al. 2010).

A qualidade de acabamento aplicada à superfície da madeira é afetada por diversos fatores incluindo os métodos de aplicação de produtos e características da madeira como teor de umidade, porosidade, rugosidade, espécie, massa específica, estrutura química, e interação entre a madeira e o produto (KOLLMANN; KUENZI; STAMM, 1975; OZDEMIR; BOZDOGAN; MENGELOGLU, 2013; OZDEMIR; HIZIROGLU; KOCAPJNAR, 2015).

O teor de umidade é uma característica da madeira que exerce influência sobre a aplicação de acabamentos e sua qualidade, portanto, indica-se para produtos de uso interior que o teor de umidade deve se encontrar entre 8 a 15%, e de uso exterior entre 15 a 20% de umidade. Acima desse teor, a água pode se acumular sob a película gerando uma aderência fraca (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com Silva (2005), Ozdemir e Hizirolu (2007), Oliveira (2008) e Ozdemir, Hizirolu e Kocapjnar (2015), a textura da madeira é outro fator importante para a aplicação de revestimentos, de modo que as madeiras de textura grosseira ou madeiras de alta porosidade necessitam de maior número de camadas a serem aplicadas, pois absorvem o acabamento em demasia, além de serem propensas a

apresentar uma má aderência. Segundo Ozdemir et al. (2015), a orientação das fibras não geram diferenças significativas nos resultados de rugosidade e adesão.

De acordo com Silva (2005), a presença de canais secretores, conteúdo nos vasos ou componentes acidentais impedem a aderência dos produtos à superfície. O acabamento base água por exemplo, pode reagir com o tanino presente na madeira escurecendo sua superfície (ÇAKICIER; KORKUT; GULER, 2011).

Para um acabamento de boa qualidade, espera-se que o verniz apresente estabilidade, rendimento, aplicabilidade, nivelamento, lavabilidade e durabilidade (FAZENDA, 2008). Porém, Watai (1995) e Désor et al. (1999) acrescentam propriedades como: boa trabalhabilidade, boa estabilidade contra a tensão de ruptura e contra a formação de espuma durante a produção e aplicação, resistência ao toque, ao impacto, à água, à trincas, e à bebidas e produtos alimentícios. A aplicação de acabamento a uma superfície de madeira não aprimora somente sua aparência, mas também aumenta sua vida útil (OZDEMIR; HIZIROGLU; KOCAPJNAR, 2015).

Outra razão para aplicar os produtos de acabamento é manter a coloração da madeira mais natural quanto é possível, o que se torna possível com o desenvolvimento de acabamentos com adição de elementos que o protegem contra raios ultravioleta (HAYOZ et al., 2003; SAHIN; MANTANIS, 2011).

5.3.7 Ensaios de avaliação do acabamento superficial

De acordo com Désor et al. (1999), a superfície acabada pode ser avaliada através de ensaios de brilho, resistência à aderência, impacto, abrasividade, e resistência química.

O brilho é uma propriedade óptica, que está baseada na interação entre a luz e as propriedades físicas de uma superfície (GUEDES, 2011), a qual segundo Çakicirer, Korkut e Korkut sevim (2011), é uma medida da habilidade de a superfície onde o acabamento foi aplicado refletir luz espelhada.

Gardner (1937) complementa que o brilho de uma superfície é avaliado pela sua capacidade de refletir uma imagem, e de acordo com essa facilidade ou dificuldade classifica-se a superfície em brilhante, acetinada e fosca, pode ser caracterizada pela suavidade, nitidez e contraste entre tipos de reflexão (difusa e especular). O brilho do acabamento deve ser avaliado em um ambiente de boa

luminosidade, se possível sob luz natural, e que não seja direta do sol, para que não ocorram diferenças de tons (CRUMP, 1992).

O brilho de uma superfície é afetado por vários fatores, tais como: o ângulo de incidência da luz, da textura da superfície (rugosidade, quantidade do revestimento aplicado) e do índice de refração do material (GUEDES, 2011). A avaliação dessa propriedade é realizada por meio do *Glossmeter* (FAZANO, 1989).

A resistência à aderência avalia a resistência de um filme quando duas superfícies são mantidas ancoradas por ação de forças intersticiais, como uma fita de alta adesividade sobre a película de acabamento (FAZANO, 1989). Segundo Sousa (2008), quando as ligações entre o verniz e a madeira são fracas (relações de molhabilidade), a aderência também se torna fraca.

Conforme Silva et al. (2010), o ensaio de aderência mede o quanto o acabamento aderiu à superfície da madeira e a qualidade da superfície. Para Martins (2011) e Dilik et al. (2014), o teste de aderência é o teste de acabamento mais importante, pois analisa a influência da superfície sobre a qualidade do acabamento.

Em relação à preparação da madeira, o aplainamento e o lixamento são as etapas onde se rompem as fibras expondo cavidades internas, e esses sulcos aumentam a ancoragem dos produtos de acabamento e a aderência do verniz (BARDAGE; BJURMAN, 1998; SILVA, 2002). A massa específica da madeira também pode afetar a aderência do verniz, de modo que as madeiras de maior massa específica apresentam maior proporção de paredes, as quais reduzem a liberação dos sulcos após o lixamento, diminuindo assim a aderência do verniz (SILVA, 2002b).

Uma maneira de melhorar a aderência do revestimento é garantir uma boa umectação da madeira pelo produto de acabamento para proporcionar melhores interações mecânicas a nível molecular entre o acabamento e o substrato (COOL; HERNÁNDEZ, 2011). Sousa (2008) relata que a aplicação de várias demãos (quantidade máxima indicada pelo fabricante) de verniz estabiliza o revestimento e aumenta a aderência. Segundo Sousa, Silva e Evangelista (2011), considera-se aprovadas pela norma NBR 11003:1990, as amostras que apresentarem até 15% de área destacada no teste.

A abrasão do acabamento superficial é produzida por diversos fatores como o impacto dos calçados sobre a superfície, transporte e movimentação de materiais

sobre um piso, a presença de oscilações, areia, sujeira, produtos químicos, umidade e troca de temperaturas (MORESCHI, 2005).

Segundo Fazano (1989) e Silva et al. (2010), a resistência à abrasão consiste no desgaste gradual da superfície do acabamento por ação abrasiva. A resistência a arranhões pode ser aprimorada adicionando elementos como silicones e parafina (DÉSOR et al., 1999).

A resistência química consiste na capacidade de um acabamento não ser manchado por diversas substâncias, bem como a resistência à ação da água, que determina a resistência da película à umidade dentro de um intervalo de tempo determinado (FAZANO, 1989).

5.4 MATERIAIS E MÉTODOS

5.4.1 Madeira e produtos utilizados

Para o desenvolvimento deste capítulo foi utilizada a madeira de *Cryptomeria japonica* cuja origem e descrição do material está apresentada no **Capítulo. 3, pg 44.**

Foram utilizados quatro produtos para acabamento: Verniz Copal, Verniz base água 40% de brilho, Verniz nitrocelulósico e Verniz poliuretano (PU).

5.4.2 Aplicação de produtos de acabamento.

As amostras utilizadas neste capítulo para a aplicação dos diferentes produtos de acabamento são as que passaram pelo processo de aplainamento e lixamento, conforme descritas no Capítulo 4. Cada peça, com comprimento de 65 cm foi seccionada em quatro partes, originando amostras de 16,25 cm, as quais foram pareadas entre os diferentes produtos, totalizando assim, 30 amostras por verniz e 120 no total. Algumas amostras apresentavam somente uma posição radial.

Depois de seccionadas e identificadas por tratamento, a superfície das amostras foi limpa com um pano levemente úmido para retirar a poeira e impurezas.

Em seguida, iniciou-se o procedimento de aplicação dos diferentes vernizes com o auxílio de pincéis, e conforme instruções do fabricante para cada produto, como pode ser verificado na Figura 16.

FIGURA 16 - LIMPEZA E APLICAÇÃO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTO SOBRE A MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



Fonte: A autora (2016).

Para o verniz base água não foi necessário ser aplicada uma camada de selador, pois o produto unia essa função juntamente à de envernizamento.

O verniz copal foi aplicado sem fundo e sem lixamento entre demãos, conforme as recomendações do fabricante.

Em relação ao verniz a base de nitrocelulose e ao verniz PU, o Quadro 3 apresenta as informações de aplicação de selador antes do acabamento. É importante ressaltar que o verniz PU foi aplicado em camada cruzada.

QUADRO 3 - INFORMAÇÕES DOS FABRICANTES SOBRE A APLICAÇÃO DE SELADORES PARA O VERNIZ À BASE DE NITROCELULOSE E POLIURETANO.

| Verniz | Selador | Diluição | Nº de demãos | Tempo de secagem |
|---------------|-----------------|---|--------------|------------------|
| Nitrocelulose | Seladora extra | - Primeira demão: 30% em aguarrás - Outras demãos: diluir de 80 – 100% em aguarrás | 2 | 1 hora |
| Poliuretano | Selador para PU | 10% de diluente para PU + 1:1 de catalisador para PU | 2 | 2 – 4 horas |

Após a aplicação dos produtos seladores, foram aplicados os produtos de acabamento propriamente ditos, os quais utilizaram a diluição e as demãos recomendadas pelos fabricantes, conforme o Quadro 4.

QUADRO 4 - INFORMAÇÕES DOS FABRICANTES SOBRE A APLICAÇÃO DOS PRODUTOS DE ACABAMENTO.

| Verniz | Diluição | Nº de demãos | Tempo de secagem |
|---------------|--|--------------|------------------|
| Copal | - Diluir até 10% em aguarrás (opcional). | 2 | 2 horas |
| Base água | - Diluir até 15% em água (opcional). | 2 | 4 – 5 horas |
| Nitrocelulose | - Diluir em 20 – 30% de aguarrás. | 2 | 1 hora |
| Poliuretano | - Utilizar catalisador na proporção de 2:1 - Diluir em 10% de diluente para PU. | 2 | 40 minutos |

Entre as demãos foram utilizadas lixas de granulometria extra fina (de 400 *mesh*) para o polimento de cada demão.

A cada demão determinava-se a espessura da camada úmida, que foi aplicada com espessura entre 75 e 125 μm .

5.4.3 Avaliação da qualidade do acabamento

Para a avaliação da qualidade do acabamento foram realizados ensaios de brilho, aderência, resistência à abrasão, impacto e resistência química, todos de acordo com os procedimentos recomendados pela norma NBR 14535:2008.

5.4.3.1 Brilho

O ensaio de brilho foi realizado por meio de um teste não-destrutivo, o qual utilizou o aparelho *Glossmeter* no sentido paralelo à grã como se observa na Figura 17.

FIGURA 17 - ENSAIO DE BRILHO, COM GLOSSMETER.



Fonte: A autora (2016).

Para este ensaio foram realizadas dez repetições por amostras, sendo cinco repetições para o cerne e cinco para o alburno.

A classificação do brilho foi realizada por meio da faixa de intensidade de luz obtida pelo *Glossmeter*, conforme o Quadro 5.

QUADRO 5 - CLASSIFICAÇÃO DO BRILHO DO ACABAMENTO DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535:2008.

| Faixa (ub) | Classe de Brilho |
|------------|------------------|
| 0 – 10 | Fosco |
| 11 – 30 | Semi-fosco |
| 31 – 70 | Semi-brilhante |
| 71 – 90 | Brilhante |
| 91 - 100 | Alto-brilho |

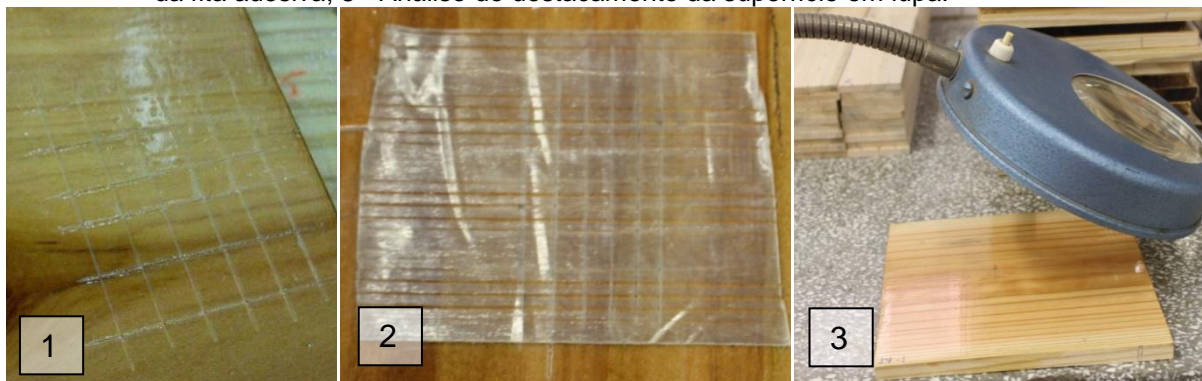
FONTE: NBR 14535:2008.

5.4.3.2 Aderência

O ensaio de aderência foi realizado segundo o método de corte em grade, o qual utilizou cinco cortes de comprimento 10 mm, com distância de 2 mm entre cortes. Para o PU, foi utilizada a distância de 5 mm entre cortes devido à camada da película ser mais espessa.

Após a realização dos cortes, uma Fita Adesiva Filamentosa com adesividade de 32 g/mm foi colada sobre a grade e removida após o intervalo de 2 minutos como mostra a Figura 18.

FIGURA 18 - ETAPAS DO ENSAIO DE ADERÊNCIA. 1 - Formação dos cortes em grade; 2- Colagem da fita adesiva; 3 - Análise do destacamento da superfície em lupa.



Fonte: A autora (2016).

Assim, o percentual de película destacada foi quantificada utilizando-se uma lupa 10x e foi classificada de acordo com o Quadro 6.

QUADRO 6 - DESCRIÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DE ACORDO COM A NORMA NBR 14535:2008.

| Grau | Descrição |
|------|--|
| 0 | 0% de área destacada do acabamento, equivalente à 100% de aderência. |
| 1 | 5% de área destacada do acabamento, equivalente à 95% de aderência |
| 2 | 15% de área destacada do acabamento, equivalente à 85% de aderência |
| 3 | 35% de área destacada do acabamento, equivalente à 65% de aderência |
| 4 | 65% de área destacada do acabamento, equivalente à 35% de aderência |

FONTE: NBR 14535 (2008).

Para este ensaio foram realizadas duas repetições por amostras, sendo uma repetição para o cerne e uma para o alburno, para verificar diferenças de comportamentos por posição radial. No entanto, algumas amostras só apresentavam alburno ou somente cerne, e por esse motivo, foram realizadas as análises em quantidades diferentes de 30 amostras.

5.4.3.3 Impacto

O ensaio de impacto foi realizado com uma esfera de aço de diâmetro 19 mm, conforme a Figura 19, lançando-a em queda livre de uma altura de 2 metros, buscando atingir as amostras em diferentes posições radiais. Não foi realizado o impacto reverso, somente direto.

FIGURA 19 - ESFERA DE AÇO UTILIZADA NO ENSAIO DE IMPACTO.



Fonte: A autora (2016).

Após o lançamento da esfera de aço, as placas foram analisadas em uma lupa 10x, e o impacto causado pelo contato da esfera metálica com a superfície acabada foi quantificado conforme o Quadro 7.

QUADRO 7 - GRADUAÇÃO DA ÁREA IMPACTADA PELA ESFERA METÁLICA .

| Grau | Descrição | |
|------|---|--|
| 5 | Impacto leve que pode apresentar uma marca suave, sem a presença de trincas ou fissuras. | |
| 4 | Um a duas trincas ou fissuras circulares ou semicirculares em torno da área de impacto. | |
| 3 | Trinca ou fissura moderada ou severa. | |
| 2 | Trinca ou fissura estendendo-se para fora da área de impacto, e/ou leve descascamento do filme. | |
| 1 | Mais do que 25% do filme removido da área de impacto. | |

FONTE: NBR 14535:2008.

Para este ensaio foram realizadas duas repetições por amostras, sendo uma repetição para o cerne e uma para o alburno. Após o lançamento da esfera, avaliou-se a superfície do acabamento.

5.4.3.4 Abrasão

O ensaio de resistência a abrasão foi realizado com base na diferença de peso em mg antes e após a abrasão da superfície do acabamento com rebolos CS17.

A taxa de desgaste foi obtida a partir da Equação 1:

$$TD = \frac{100 (A-B)}{C} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

TD = Taxa de desgaste

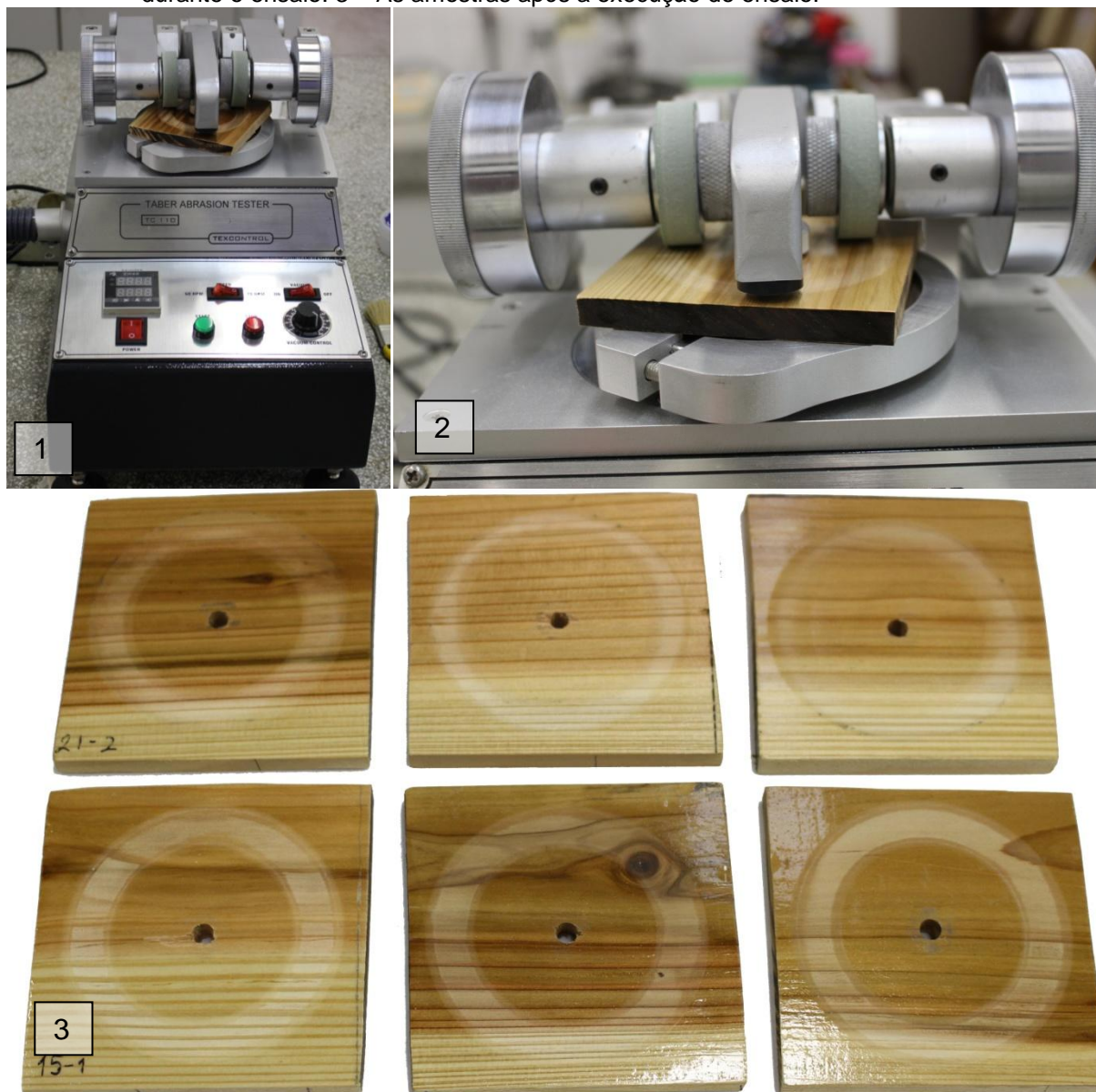
A = Peso da amostra antes da abrasão (mg)

B = Peso da amostra após a abrasão (mg)

C = n° de ciclos

O ensaio foi realizado em um abrasímetro, e as peças que sofreram a ação abrasiva estão evidenciadas na Figura 20.

FIGURA 20 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA À ABRASÃO. 1 – O aparelho abrasímetro; 2 – Os rebolos durante o ensaio. 3 – As amostras após a execução do ensaio.



Fonte: A autora (2016).

5.4.3.5 Resistência química

O ensaio de resistência química foi realizado com a aplicação de 17 reagentes conforme a Figura 21, para manchar a película de acabamento, sendo eles: batom, pincel atômico preto, caneta esferográfica azul, giz de cera, mostarda, *catchup*, detergente neutro, chá mate, café, suco de uva integral, óleo de soja, água, vinagre tinto, leite integral, acetona, sabão diluído em 5% de água e graxa de sapatos.

FIGURA 21 – REAGENTES QUÍMICOS APLICADOS SOBRE OS ACABAMENTOS.



Fonte: A autora (2016).

Os reagentes líquidos foram aplicados com o auxílio de uma pipeta manual na quantidade de 1 ml por peça e para os reagentes pastosos foi utilizada uma colher de sopa. Esses reagentes foram aplicados sobre a superfície das amostras conforme a Figura 22 e removidos após 8 horas.

FIGURA 22 - APLICAÇÃO DOS REAGENTES SOBRE OS ACABAMENTOS. 1 – Aplicação de batom, pincel atômico, caneta esferográfica, giz de cera, mostarda, catchup, detergente, chá, café e suco de uva integral. 2 – Aplicação de óleo, água, vinagre tinto, leite, acetona, sabão diluído em água. 3. Aplicação de graxa.



Fonte: A autora (2016).

Após a remoção dos reagentes, foram utilizados procedimentos de limpeza descritos no Quadro 8.

QUADRO 8 - ETAPAS DE LIMPEZA DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA QUÍMICA.

| Grau de dificuldade de remoção | Etapas da limpeza |
|--------------------------------|--|
| 1 | Limpar com algodão embebido em água, e após utilizar algodão seco. |
| 2 | Limpar com algodão embebido em uma solução de água diluída em 5% de sabão neutro, e após utilizar algodão úmido e depois algodão seco. |
| 3 | Limpar com algodão embebido em uma solução de 1:1 de água e álcool etílico 96°, e após utilizar algodão seco. |
| 4 | Limpar com algodão embebido em uma solução de 1:1 de água e álcool etílico 96°, e após utilizar algodão seco. |
| 5 | Limpar com algodão embebido em solvente aguarrás, e após utilizar algodão seco. |
| 6 | Limpar com algodão embebido em saponáceos, e após utilizar algodão seco. |

FONTE: Adaptado da norma NBR 14535 (2008).

5.4.4 Realização de pesquisa de opinião

Após a aplicação e secagem dos acabamentos, foi realizada uma pesquisa de opinião com 36 avaliadores, sendo esses, alunos e professores da área de tecnologia da madeira, com a finalidade de determinar qual era o acabamento mais atraente visualmente para utilização em móveis. As diferenças entre cerne e alburno também foram consideradas.

Os avaliadores utilizaram a análise visual da textura, do brilho, da coloração da madeira (se o produto de acabamento mantinha o aspecto natural da madeira), da aparente facilidade de limpeza (produtos com menor intensidade de brilho aparentava maior facilidade de limpeza, segundo parte dos avaliadores), além de utilizarem o tato como ferramenta auxiliar de avaliação e de justificativa de voto.

5.4.5 Análise estatística

Como os dados qualitativos gerados pela norma NBR 14535 (ABNT, 2000) são descontínuos, optou-se pela análise não-paramétrica de *Kruskal-Wallis*, baseada na estatística H. Foi testada a hipótese de que pelo menos um dos vernizes aplicados apresentou performance diferente dos demais para: aderência; brilho;

resistência química e resistência física a nível de 5% de significância. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico *Statgraphics Centurion XVI*.

5.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.5.1 Brilho

Os resultados médios do brilho dos diferentes vernizes aplicados sobre a superfície da madeira de *Cryptomeria japonica* são apresentados na Tabela 10.

TABELA 10 - RESULTADOS MÉDIOS DO BRILHO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS APLICADOS SOBRE A MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Produto | Espécie ¹ (u.b.) | Alburno ² (u.b.) | Cerne ² (u.b.) |
|---------------|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| PU | 50,39 b (24,26) | 48,55 B b (19,55) | 52,09 A b (27,12) |
| Nitrocelulose | 56,50 a (16,43) | 55,74 B a (17,01) | 57,23 A a (15,83) |
| Base água | 40,22 c (22,56) | 37,03 B c (22,05) | 43,53 A c (20,24) |
| Copal | 52,56 b (22,72) | 53,72 B a (19,39) | 51,39 A b (25,73) |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (a, b, c) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliada a intensidade de brilho de acordo com o produto utilizado; Letras minúsculas (A, B) indicam comparação de médias na linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais em relação ao produto de acabamento aplicado. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

O verniz que apresentou a maior intensidade de brilho foi o verniz a base de nitrocelulose, seguido pelo verniz copal, poliuretano e do verniz base água.

O verniz que apresentou a menor intensidade de brilho foi o verniz base água, o qual condiz com os dados informados pelo fabricante, que relata que esse verniz possui 40% de brilho, apresentando de fato intensidade entre 37 e 43 ub.

Foram observadas diferenças estatísticas significativas entre os diferentes produtos de acabamentos, e os coeficientes de variação encontrados foram de até 27%, sabendo que até 30% é considerada uma dispersão média (CEP, 2016).

Todos os produtos se classificaram como semi-brilho segundo a norma NBR 14535 (ABNT, 2008).

Em relação as posições radiais, a que apresentou a maior intensidade de brilho foi o cerne. O alburno apresentou menor intensidade de brilho que o cerne, com exceção do verniz copal, que se comportou de maneira contrária.

Budakçi e Sonmez (2010) avaliando *Pinus sylvestris* L., *Abies bornmülleriana* Mattf, *Fagus orientalis* L. e *Quercus petraea* L. e a aplicação de vernizes a base de nitrocelulose, poliuretano e a base d'água, indicaram que o acabamento de poliuretano apresentou os maiores valores de brilho, o verniz base água apresentou resultados medianos e o verniz nitrocelulósico apresentou o menor valor entre todos os acabamentos testados. Çakicier et al. (2011) estudando a aplicação de vernizes a base de poliuretano e vernizes acrílicos sobre painéis sarrafeados, e observaram que o acabamento poliuretano apresentou maior intensidade de brilho do que os vernizes acrílicos, e que ambos apresentaram o dobro da intensidade de brilho de uma superfície sem acabamento. Já a *Cryptomeria japonica* com aplicação do verniz PU, apresentou um valor de brilho superior aos resultados encontrados por Budakçi e Sonmez (2010) e Çakicier et al. (2011).

Braga (2011) obteve os valores de 35,6 ub e 47,6 ub de brilho para os vernizes de nitrocelulose e PU respectivamente, aplicados sobre a madeira de *Coffea arabica*, e se classificaram como semi-brilho, bem como a *Cryptomeria japonica*.

Sousa (2008) notou em seu experimento que houve uma inversão de brilho, ou seja, os vernizes de semi-brilho apresentaram maior leitura de brilho do que os vernizes brilhantes para todas as espécies. Em contrapartida, o presente estudo apresentou o brilho conforme a classificação indicada pelos fabricantes.

Rocha (2004) encontrou brilho variável entre 15 a 96 ub para vernizes base água. O verniz do presente estudo apresentou valores dentro desta faixa.

Çakicier, Korkut e Guler (2011) ensaiaram as madeiras *Fraxinus excelsior* L. e *Castanea sativa* Mill. com aplicação de verniz poliuretano, sintético, base água e nitrocelulose, e notaram que o verniz que apresentou a maior intensidade de brilho foi o nitrocelulose, e o que apresentou a menor intensidade de brilho foi o verniz base água, assim como foi constatado no presente estudo com a *Cryptomeria japonica*.

5.5.2 Aderência

De maneira geral, os diferentes tipos de vernizes apresentaram dificuldade de impregnação na região dos nós. Uma das substâncias relevantes da *Cryptomeria*

japonica é o ferruginol encontrado no cerne por Nakajima, Yoshimoto e Fukuzumi (1980), os quais indicam que esse elemento pode retardar a cura de resinas e adesivos e dificultar a aplicação de resinas, adesivos e produtos de acabamento.

A Tabela 11 apresenta a quantidade de amostras por grau de aderência obtido no presente experimento, lembrando que o número de amostras não totalizou as 30 amostras cortadas, pois algumas amostras apresentavam somente cerne ou alburno.

TABELA 11 - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE ADERÊNCIA DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE A MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Posição radial | Produto | Grau 0 | Grau 1 | Grau 2 | Grau 3 | Grau 4 | Nº total de amostras por posição radial |
|----------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|---|
| Alburno | PU | 6 | 8 | 12 | 0 | 0 | 26 |
| | Nitrocelulose | 12 | 11 | 0 | 0 | 0 | 23 |
| | Base água | 23 | 5 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | Copal | 20 | 6 | 0 | 0 | 0 | 26 |
| Cerne | PU | 14 | 10 | 4 | 0 | 0 | 28 |
| | Nitrocelulose | 23 | 6 | 0 | 0 | 0 | 29 |
| | Base água | 25 | 3 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | Copal | 22 | 6 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| Espécie | PU | 10 | 9 | 8 | 0 | 0 | 27 |
| | Nitrocelulose | 17 | 8 | 0 | 0 | 0 | 25 |
| | Base água | 24 | 4 | 0 | 0 | 0 | 28 |
| | Copal | 21 | 6 | 0 | 0 | 0 | 27 |

Grau 0: equivale a 0% de destacamento da área do acabamento; Grau 1: equivale a 5% de destacamento da área do acabamento; Grau 2: equivale a 15% de destacamento da área do acabamento; Grau 3: equivale a 35% de destacamento da área do acabamento; Grau 4: equivale a 65% de destacamento da área do acabamento.

A boa aderência obtida a partir dos diferentes vernizes aplicados na madeira de *Cryptomeria japonica* pode ser justificada pela boa preparação da superfície para receber os produtos, a qual é corroborada pelas afirmações de Avelino (2012), que relata que a alta aderência do verniz se deve principalmente ao aplainamento e ao lixamento realizados de forma adequada.

De forma geral, o verniz que apresentou o maior número de amostras com 100% de aderência foi o verniz base água, seguido do verniz copal. O verniz que

apresentou o menor número de amostras com 100% de aderência foi o verniz poliuretano, e também foi o único que apresentou destacamento de 15% da película de acabamento.

É possível observar que nenhum dos acabamentos apresentou destacamento de área superior a 15%, equivalente ao grau 2, ou seja, todos os acabamentos foram considerados aprovados para utilização conforme a norma NBR 14535:2000. Os estudos de Souza, Silva e Evangelista (2011) são similares com o resultado do presente experimento.

O acabamento que apresentou a maior área de destacamento foi o PU, pelo fato de ser um acabamento mais quebradiço em relação aos demais avaliados. Segundo Vilar (1993), a resina PU para acabamento pode ser classificada de macia e flexível a dura e quebradiça, o que depende das matérias primas utilizadas para sua produção.

O local de maior destacamento da camada superficial durante o desenvolvimento do ensaio foi entre as intersecções da grade conforme se observa na Figura 23, o que demonstrou a influência que o corte exerceu sobre os resultados encontrados. Souza, Silva e Evangelista (2011) também constataram comportamento semelhante para a madeira de *Eucalyptus camaldurensis* e *Eucalyptus urophylla*.

FIGURA 23 - ANÁLISE DE ADERÊNCIA DA *Cryptomeria japonica* NA LUPA 10X.



Fonte: A autora (2016).

A posição radial que apresentou a maior aderência foi o cerne, para todos os produtos de acabamento. Esse resultado se deve possivelmente ao cerne da *Cryptomeria japonica* ter apresentado uma compatibilidade com os produtos de acabamento maior do que o alburno, resultando em maior ancoragem dos

acabamentos à superfície da madeira. Çakicier, Korkut e Korkut Sevim (2011) também obtiveram resultados semelhantes.

Os resultados médios da porcentagem de descascamento da superfície acabada de *Cryptomeria japonica* é apresentada na Tabela 12.

TABELA 12 - RESULTADOS MÉDIOS DA PORCENTAGEM DE DESTACAMENTO DA PELÍCULA DOS ACABAMENTOS NA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Produto | Espécie ¹ (%) | Alburno ² (%) | Cerne ² (%) |
|---------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| PU | 6,11 a | 8,46 A a | 3,93 B a |
| Nitrocelulose | 1,63 b | 2,39 A b | 1,03 B b |
| Base água | 0,71 b | 0,89 A b | 0,53 B b |
| Copal | 1,11 b | 1,15 A b | 1,07 B b |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (A, B) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliada a resistência à aderência de acordo com o produto utilizado; Letras minúsculas (a, b) indicam comparação de médias na linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais em relação ao produto de acabamento aplicado.

O verniz que apresentou o menor percentual de destacamento da superfície foi verniz base água. O verniz que apresentou a maior porcentagem de destacamento da superfície nesse caso foi o verniz PU com o maior percentual de destacamento da película de acabamento.

A posição radial que apresentou maior percentual de destacamento da película foi o alburno, principalmente para o verniz poliuretano, sendo constatadas diferenças estatísticas significativas entre as diferentes posições radiais.

Embora Martins (2011) tenha focado seu trabalho nas granulometrias de lixas utilizadas na preparação da madeira, foi possível observar que a aderência do verniz poliuretano sobre madeira de *Eucalyptus benthamii* apresentou um destacamento da película entre 0 a 5%, consequentemente, alcançou uma alta aderência, já a *Cryptomeria japonica* utilizada neste estudo, apresentou algumas amostras acabadas com verniz PU com até 15% de destacamento da película. Analisando o trabalho de Ozdemir et al. (2015), nota-se que os melhores resultados de adesão estão ligados ao lixamento realizado com lixas de grão maior, ou seja, quanto maior o tamanho do grão abrasivo.

Assim como Martins (2011), Pace (2013) estudou a aderência do verniz PU, porém, em madeiras de *Corymbia citriodora* e *Khaya ivorensis*, e também obteve resultados superiores à *Cryptomeria japonica*.

Avelino (2012) comparou o desempenho de aderência do verniz a base de nitrocelulose com o verniz a base de poliuretano sobre a madeira de *Tectona grandis* L. f., e observou que o verniz nitrocelulose apresentou 100% de aderência para todas as amostras e o verniz PU apresentou 97% de aderência para as amostras testadas. Resultados similares foram obtidos no presente estudo, onde o verniz nitrocelulose apresentou resultados superiores de aderência quando comparado com o verniz PU. Dilik et al. (2015) corroboram com o mesmo comportamento, quando comparados os dois vernizes citados.

Souza (2007) estudou a aderência dos vernizes nitrocelulose, PU, PU com tingidor e cera de carnaúba sobre clones de *Eucalyptus camaldurensis*, e notou que os vernizes que apresentaram o melhor desempenho e a maior quantidade de amostras aprovadas foram o verniz nitrocelulósico e o PU, sendo que o PU ainda apresentou valores superiores de aderência que o verniz nitrocelulose. Em contrapartida, a *Cryptomeria japonica*, utilizada neste trabalho, apresentou a melhor aderência a partir do verniz nitrocelulósico quando comparado com o verniz PU, resultado que pode estar associado às características do próprio verniz, as quais, segundo Çakicier, Korkut e Korkut Sevim (2011), se resumem à compatibilidade com a madeira utilizada.

Silva et al. (2010) utilizaram as espécies *Eucalyptus grandis*, *Coffea arabica* e *Toona ciliata* e o verniz nitrocelulose, e não constataram destacamento, resultado superior à *Cryptomeria japonica*, que apresentou até 5% de destacamento da película.

O verniz base água foi o que apresentou a menor porcentagem de destacamento do acabamento aplicado sobre a *Cryptomeria japonica*, que pode ser justificado pela própria qualidade do acabamento (SILVA, 2002b). Já Sousa (2008), observou que os vernizes à base de solventes apresentaram uma aderência de melhor desempenho dos que os vernizes base água.

Não foram encontrados estudos na literatura realizados com o verniz copal, o que demonstra a necessidade de estudos com esse produto.

5.5.3 Resistência ao impacto

A Tabela 13 mostra os resultados médios da resistência ao impacto dos vernizes PU, nitrocelulósico, à base água e copal sobre a madeira de *Cryptomeria japonica*.

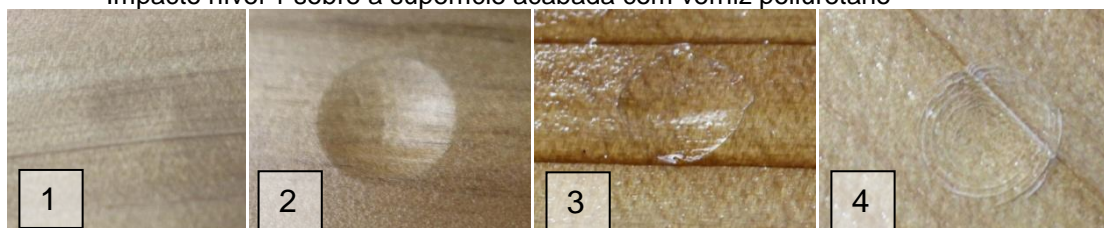
TABELA 13 - RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA AO IMPACTO DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE A MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Produto | Espécie ¹ | Alburno ² | Cerne ² |
|---------------|----------------------|----------------------|---------------------|
| PU | 3,37 b (20,76) | 3,67 B b (20,76) | 3,11 A b (25,73) |
| Nitrocelulose | 4,19 a (18,33) | 4,38 B a (18,33) | 4,00 A a (22,82) |
| Base água | 4,42 a (13,51) | 4,53 B a (13,51) | 4,36 A a (15,57) |
| Copal | 4,54 a (14,03) | 4,60 B a (14,03) | 4,48 A a (12,94) |

1: Valor médio para a espécie; 2 Valor médio das diferentes posições radiais; Médias seguidas da mesma letra, na coluna ou na linha, não diferem estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* a 95% de probabilidade. Letras maiúsculas (a, b) indicam comparação de médias na coluna, sendo avaliada a resistência ao impacto de acordo com o produto utilizado; Letras minúsculas (A, B) indicam comparação de médias na linha, sendo avaliadas as diferentes posições radiais em relação ao produto de acabamento aplicado. Valores entre parênteses referem-se ao coeficiente de variação das amostras.

O verniz que apresentou o maior impacto, e portanto, o maior número de fissuras foi o verniz PU conforme se observa na Figura 24. O verniz que apresentou a maior média de resultados, ou seja, a maior resistência ao impacto na superfície da madeira foi o verniz copal.

FIGURA 24 - IMPRESSÕES DEIXADAS PELO IMPACTO DA ESFERA DE AÇO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*. 1 – Impacto nível 5 sobre a superfície acabada com verniz à base d'água; 2 - 1 – Impacto nível 3 sobre a superfície acabada com verniz à base d'água; 3 - Impacto nível 3 sobre a superfície acabada com verniz poliuretano; 4 - Impacto nível 1 sobre a superfície acabada com verniz poliuretano



Fonte: A autora (2016).

Em geral, observou-se que o impacto para todos os revestimentos foi menor no alburno do que no cerne, onde este resultado pode ter ocorrido em função de o alburno ser mais poroso do que o cerne, o qual impregnou mais quantidade de verniz, bem como mais profundamente, reduzindo assim, a incidência de fissuras nesta região. Em relação às posições radiais, foi possível constatar diferenças estatísticas de impacto entre ambas.

Santos, Lima e Silva (2010) utilizaram clones de *Eucalyptus camaldurensis* e *Eucalyptus urophylla*, e observaram as diferenças quanto ao impacto da esfera de aço em relação às posições radiais, sendo que nas regiões próximas à casca as deformações causadas pela esfera foram de maior proporção. Já a *Cryptomeria japonica* utilizada neste estudo revelou um impacto maior no cerne do que no alburno.

Padilha et al. (2006) observaram que quanto mais próximo à casca, o impacto gera menos danos à superfície acabada, ou seja, no alburno o impacto tende a formar menos fissuras do que no cerne, fato observado neste trabalho.

5.5.4 Resistência à abrasão

Os resultados médios da resistência à abrasão dos produtos de acabamento sobre a madeira de *Cryptomeria japonica* são apresentados na Tabela 14.

TABELA 14 - RESULTADOS DA RESISTÊNCIA À ABRASÃO DOS DIFERENTES ACABAMENTO APLICADOS À MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Identificação | Produto | Nº médio de ciclos | Taxa média de desgaste (mg/1000 ciclos) |
|---------------|---------------|--------------------|---|
| 1 | Poliuretano | 1019 | 379 a (5,35) |
| 2 | Nitrocelulose | 326 | 388 a (9,63) |
| 3 | Base água | 701 | 257 b (11,11) |
| 4 | Copal | 381 | 359 a (9,07) |

¹Médias seguidas da mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente, pelo teste de Kruskal-Wallis, a 95% de probabilidade.

O produto que apresentou a maior taxa de desgaste à abrasão e a menor resistência mecânica foi o verniz a base de nitrocelulose, e o que apresentou a menor taxa de desgaste e maior resistência mecânica foi o base água. Referente à taxa de desgaste, os produtos apresentaram diferenças estatísticas entre si, principalmente do verniz a base água em relação aos demais. Com base na literatura, afirma-se que o resultado do nitrocelulose pode ser explicado devido a esse produto ser obtido por nitração, ou seja, por ácido nítrico e polpa de madeira resultando em baixa resistência mecânica.

Por outro lado, o acabamento que necessitou do maior número de ciclos para remover a camada de revestimento foi o verniz PU, e o verniz nitrocelulose utilizou o menor número de ciclos para desgastar a superfície acabada.

Braga (2011) utilizou a espécie *Coffea arabica* e um número fixo de 500 ciclos, para comparar o desempenho do verniz a base de nitrocelulose e do verniz poliuretano em relação à abrasão, o pesquisador não constatou diferenças estatísticas entre ambos os vernizes. Já nesta pesquisa, foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre os diferentes produtos para o número de ciclos, mas não para a taxa de desgaste destes produtos.

5.5.5 Resistência química

Os resultados de resistência química dos quatro acabamentos aplicados à madeira de *Cryptomeria japonica* em relação aos vestígios de manchas de diversos reagentes estão apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 - RESULTADOS DA RESISTÊNCIA QUÍMICA DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Verniz | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|--------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| PU | N | 2 | 2 | N | 9 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | 3 | N | N |
| Nitro | N | 1 | 2 | N | 1 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | 7 | N | N |
| BA | N | N | 8 | N | 6 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | 8 | 8 | N |
| Copal | N | 8 | 8 | 1 | 8 | N | N | N | N | N | N | N | N | N | 1 | 8 | N |

A: Batom; B: Pincel Atômico; C: Caneta esferográfica; D: Giz de cera; E: Mostarda; F: *Catchup*; G: Detergente; H: Chá; I: Café; J: Suco de uva integral; K: Óleo; L: Água; M: Vinagre tinto; N: Leite; O: Acetona; P: Sabão; Q: Graxa.

PU: Poliuretano; Nitro: Nitrocelulósico; BA: Base água.

Referente às notas: 1-10, sendo esse o número de amostra em que não foi possível remover as manchas e "N" sendo referente às amostras que não ficaram manchadas.

Os reagentes que não deixaram vestígios de manchas para nenhum dos quatro revestimentos após os procedimentos de limpeza foram o batom, o *catchup*, o chá, o café, o suco de uva integral, o óleo, a água, o vinagre tinto e o leite.

Os reagentes que deixaram vestígios permanentes para todos os vernizes foram: a caneta esferográfica, a mostarda e a acetona. Em menor quantidade, o sabão diluído em água e o giz de cera mancharam o verniz copal e o verniz base água.

O verniz copal foi o verniz que apresentou maior número de amostras com vestígios das manchas, principalmente para os reagentes: pincel atômico, caneta esferográfica, mostarda e sabão. O verniz base água apresentou o maior número de amostras manchadas com a caneta esferográfica, a acetona e o sabão. O verniz poliuretano apresentou o maior número de amostras manchadas com a mostarda.

Entretanto, o verniz base água não apresentou vestígios de manchas para o pincel atômico. Em relação ao giz de cera, somente no verniz copal foram encontrados resíduos da mancha, sendo encontrada apenas uma peça entre as 10 manchadas permanentemente. Para o sabão, os vernizes PU e nitrocelulose apresentaram maior resistência química.

O grau de dificuldade de remoção das manchas seguindo as etapas previstas pela norma NBR 14535 (ABNT, 2000) está apresentada na Tabela 16.

TABELA 16 - DADOS REFERENTES À DIFICULDADE DE REMOÇÃO DAS MANCHAS DOS DIFERENTES ACABAMENTOS SOBRE MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Verniz | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q |
|---------------|---|----|----|---|----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|---|
| PU | 1 | 5 | 5 | 1 | MP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | MP | 1 | 2 |
| Nitro. | 2 | 3 | 5 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | MP | 1 | 2 |
| BA | 1 | 2 | MP | 2 | MP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | MP | MP | 1 |
| Copal | 1 | MP | MP | 2 | MP | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | MP | 1 |

A: Batom; B: Pincel Atômico; C: Caneta esferográfica; D: Giz de cera; E: Mostarda; F: *Catchup*; G: Detergente; H: Chá; I: Café; J: Suco de uva integral; K: Óleo; L: Água; M: Vinagre tinto; N: Leite; O: Acetona; P: Sabão; Q: Graxa.

Referente a primeira coluna: PU: Poliuretano; Nitro: Nitrocelulósico; BA: Base água.

Referente as notas: 1 – 6, sendo 6 o grau mais difícil de remoção e MP: mancha permanente. 1: Remoção com água; 2: Remoção com sabão e água; 3: Remoção com água e álcool; 4: Remoção com água e álcool novamente; 5: Remoção com aguarrás; 6: Remoção com saponáceo.

Os reagentes que necessitaram de menos etapas de limpeza para serem removidos completamente foram o batom, *catchup*, detergente, chá, café, suco de uva integral, óleo, água, vinagre tinto e leite.

O verniz que apresentou maior facilidade de remoção de manchas foi o verniz nitrocelulose, pois somente a acetona deixou manchas permanentes. O copal foi o verniz que apresentou maior número de manchas permanentes.

O verniz PU necessitou de 5 etapas de limpeza, conforme descreve a norma, para remover a mancha deixada pelo pincel atômico e pela caneta esferográfica. O verniz nitrocelulose também necessitou de 5 etapas de limpeza para remover a caneta esferográfica e foram necessárias 4 etapas de limpeza para remover a mancha de mostarda.

Guedes (2011) estudou a resistência à água e ao hipoclorito de sódio com 5% de cloro sobre o acabamento de poliuretano em tampos de madeira de faia, e ambas as substâncias mancharam o acabamento, resultado contrário ao obtido no presente estudo com a *Cryptomeria japonica*, o qual não foi manchado pela água.

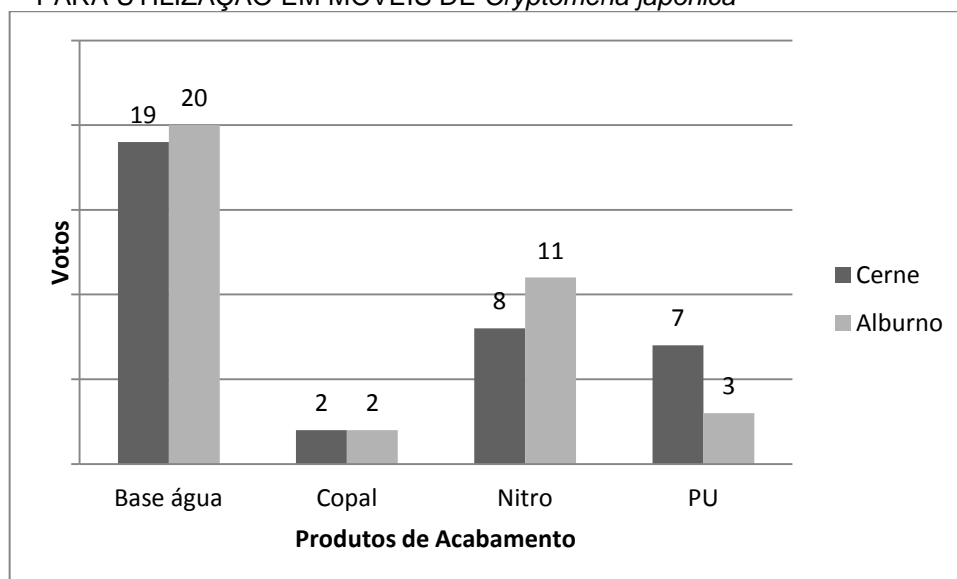
Leite (2014) observou que todos os reagentes puderam ser removidos da superfície de acabada com verniz *Eucalyptus cloeziana*, *Eucalyptus resinífera* e *Corymbia maculata*, no entanto, as superfícies onde foi aplicado somente o isolante de superfície apresentaram vestígios permanentes dos reagentes.

Rocha (2004) observou que os reagentes: água quente, água fria e vinho tinto não apresentaram alterações na superfície da madeira com acabamento base água, no entanto, o amoníaco deixou uma mancha esverdeada sobre as peças. Resultado similar foi encontrado neste estudo a partir dos vernizes a base d'água e copal, os quais foram manchados com a acetona e o sabão.

5.5.6 Pesquisa de opinião

O Gráfico 2 representa o resultado da pesquisa de opinião realizada com 37 pessoas para analisar qual seria o acabamento com aspecto visual mais agradável e desejado para aplicação em móveis de *Cryptomeria japonica*, segregados por cerne e alburno

GRÁFICO 2 - PESQUISA DE OPINIÃO SOBRE A PREFERÊNCIA DOS DIFERENTES VERNIZES PARA UTILIZAÇÃO EM MÓVEIS DE *Cryptomeria japonica*



O produto de acabamento mais votado tanto para o cerne quanto para o alburno foi o verniz base água com 40% de brilho. Os avaliadores justificavam sua escolha devido ao aspecto mais próximo da estética da madeira sem acabamento conforme a Figura 25, parece aparentar facilidade de limpeza, os defeitos não mostram-se tão aparentes, e por possuir menor brilho que os outros acabamentos.

FIGURA 25 - AVALIAÇÃO DO ACABAMENTO BASE ÁGUA SOBRE A MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



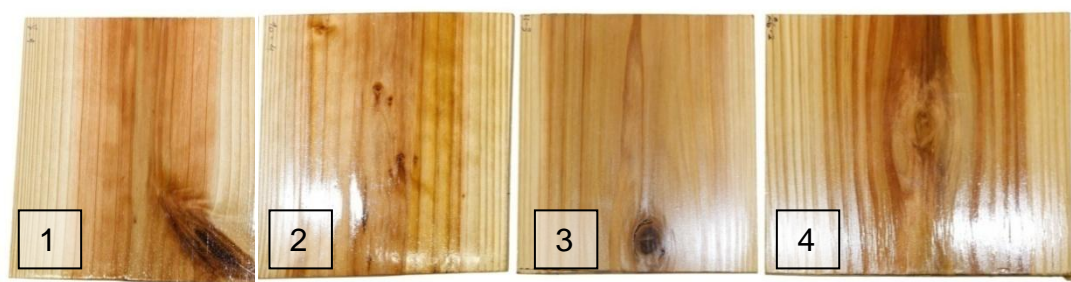
Fonte: A autora (2016).

O verniz copal foi o produto menos votado, em função de seu brilho excessivo, por apresentar uma superfície áspera e pelo fato de ressaltar ainda alguns defeitos da superfície.

De maneira geral, entendeu-se que os acabamentos mais foscos e semi-brilhantes são os preferidos pelos avaliadores, visto que é um acabamento mais discreto e natural, e que as tendências atuais mostram preferência por acabamentos com esta característica, pois esse tipo de acabamento traz uma imagem de sofisticação.

A intensidade de brilho foi levada em consideração pelos avaliadores, como se verifica na Figura 26, que o verniz base água apresentou brilho moderado.

FIGURA 26 – AVALIAÇÃO VISUAL DOS ACABAMENTOS DA SUPERFÍCIE DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*. 1 – Verniz a base de poliuretano; 2 – Verniz copal; 3 – Verniz à base d'água; 4 – Verniz a base de nitrocelulose.



Fonte: A autora (2016).

A aparência está intimamente ligada às tendências correntes no mercado (RAZERA; MUÑIZ, 2006). O verniz fosco se apresenta atrativo às tendências atuais pelo fato de apresentar as características da madeira de maneira mais natural do que os vernizes de acabamento brilhante (CRUMP, 1992).

Assim como as propriedades determinadas pela norma NBR 14535 (ABNT, 2000), o aspecto estético de um acabamento também pode definir sua utilização. Por exemplo, os acabamentos brilhantes e de alto brilho são desejados para utilização em pisos, os acabamentos semi-brilhantes e fosco são muito indicados para móveis e objetos. Não basta somente determinar as propriedades, mas também é importante observar as características estéticas desejadas em um produto.

5.6 CONCLUSÕES

A partir do estudo do acabamento superficial da madeira de *Cryptomeria japonica* foi possível concluir que:

- O verniz que apresentou maior intensidade de brilho foi o nitrocelulose, e o que apresentou menor intensidade de brilho foi o verniz base água.

- O cerne apresentou maior intensidade de brilho para todos os produtos, com exceção do verniz copal;

- O verniz a base d'água apresentou o maior número de amostras com 100% de aderência. O verniz poliuretano apresentou a maior porcentagem de destacamento da película dentre todos os produtos testados.

- O cerne apresentou maior aderência do que o alburno.

- O verniz que apresentou maior impacto sobre sua superfície foi o verniz PU. O verniz que apresentou menor resistência ao impacto foi o copal.

- O alburno apresentou maior resistência ao impacto do que o cerne.

- O verniz a base d'água apresentou a maior resistência mecânica e o nitrocelulose a menor resistência.

- O verniz nitrocelulósico e o poliuretano apresentaram maior facilidade de remoção de manchas. O verniz copal apresentou o maior número de amostras manchadas permanentemente.

- O verniz a base d'água foi o que apresentou a maior preferência entre os entrevistados para utilização em móveis de madeira maciça.

5.7 REFERÊNCIAS

- ABRAFATTI **Indicadores do mercado: números do setor. 2015**. Disponível em: <<http://www.abrafati.com.br/indicadores-do-mercado/numeros-do-setor/>> Acesso em: 15 de maio de 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11003**: tintas - determinação da aderência. Rio de Janeiro, 1990. 7p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14535**: móveis de madeira: tratamento de superfícies: requisitos de proteção e acabamento. Rio de Janeiro. 2000.
- AVELINO, E. F. **Avaliação da madeira de teca jovem (*Tectona grandis* L. f.) visando uso em movelaria**. 96 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Setor de Ciências Ambientais e Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2012.
- BARDAGE, S. L.; BJURMAN, J. Adhesion of waterborne paints to wood. **Journal of Coatings Technology**, v. 70, n. 3, p. 39 - 47, 1998.
- BRAGA, P. P. DE C. **Qualidade na usinagem e no acabamento da madeira de *Coffea arabica***. 89 f. Dissertação (Mestrado em Processamento e Utilização da Madeira) - Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.
- BUDAKÇI, M.; SONMEZ, A. Determining adhesion strength of some wood varnishes on different wood surfaces. **Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University**. v. 25, n. 1, p. 111 - 118, 2010.
- ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT, D. S.; KURTOGLU, A.; ERDINLER, S.; ULAY, G. The effects of protective dye layer applied on varnish layer hardness, scratch resistance and glossiness of various blockboard types. **African Journal of Agricultural Research**, v. 6, n. 10, p. 2303 - 2308, 2011.
- ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; GÜLER, F. D. Effects of heating treatment on some of the physical properties of varnish layers applied on various wood species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 9, p. 1578 - 1585, 2011.
- ÇAKICIER, N.; KORKUT, S.; KORKUT SEVIM, D. Varnish Layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment. **BioResouces**, v. 6, n. 2, p. 1648 - 1658, 2011.
- CARNEIRO, M. E.; BITTENCOURT, E.; MUNIZ, G. I. B. DE. Qualidade da madeira de *Cryptomeria japonica* D. Don. **Floresta**, v. 39, n. 4, p. 913 - 920, 2009.
- CEP Controle Estatístico de Processo. **Os ciclos dos gestores nas suas empresas**. Disponível em:

<<http://www.datalyzer.com.br/site/suporte/administrador/info/arquivos/info39/39.html>.>. Acesso em 23/06/16.

CHANG, T.; CHANG, H.; WU, C.; CHANG, S. Influences of extractives on the photodegradation of wood. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, p. 516 - 521, 2010.

CLANCY'S, Commercial. **Advantages & Disadvantages of Coating Types**. Technical bulletin. Disponível em: <www.clancyscommercial.com>. Acesso em: 17 de junho de 2016.

COOL, J.; HERNÁNDEZ, R. E. Improving the sanding process of black spruce wood for surface quality and water-based coating adhesion. **Forests Products Journal**, v. 61, n. 5, p. 372 - 380, 2011.

CRUMP, D. **The complete guide to wood finishes**. Simon & Schuster, 1992.

CUSTÓDIO, J. E. P.; EUSÉBIO, M. I. Waterborne acrylic varnishes durability on wood surfaces for exterior exposure. **Progress in Organic Coatings**, v. 56, n. 1, p. 59 - 67, 2006.

DÉSOR, U.; KRIEGER, S.; APITZ, G.; KUROPKA, R. Water-borne acrylic dispersions for industrial wood coatings. **Surface Coatings International**, v. 10, p. 488 - 496, 1999.

DILIK, T.; KOÇ, K. H.; HAZIR, E.; ERDINLER, E. S. Surface Treatment , Layer Thickness and Surface Performance Relations of Wood Materials. PROCEEDINGS OF THE 57TH INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY. June 23-27, 2014. **Anais...**Zvolen, Eslováquia: 2014.

DILIK, T.; ERDINLER, S.; HAZIR, E.; KOÇ, H.; HIZIROGLU, S. Adhesion Strength of Wood Based Composites Coated with Cellulosic and Polyurethane Paints. **Advances in Materials Science and Engineering**, n. 745675, 2015.

EUCATEX, **Unidades de tintas e vernizes completa 20 anos**. n. 8, v.40. Informativo. 2014 Disponível em: <<http://static.eucatex.mediagroup.com.br/Uploads/Jornal/74.pdf>> Acesso em: Acesso em: 15 de maio de 2016.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas e vernizes: ciência e tecnologia**. Edgard Blücher, 2005. 1044 p.

FAZANO, C. A. T. V. **Tintas: Métodos de controle de pinturas e superfície**. Brasil. Hemus. 1989. 287p.

FAZENDA, J. M. R. **Tintas imobiliárias de qualidade: o livro de rótulos da ABRAFATI**. Editora Blucher. São Paulo: 2008.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (FIESP). **Indústria de tintas e vernizes apresenta forte expansão entre 2007 e 2013**. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/observatoriodaconstrucao/noticias/industria-de-tintas-e-vernizes-apresenta-forte-expansao-entre-2007-e-2013/>> 2014. Acesso em: 15 de maio de 2016.

FLORÉZ, J. **Comportamento em serviço da madeira jovem de *Tectona grandis* L. f. com diferentes acabamentos para uso em ambiente externo**. 109 f. Tese (Doutorado em Processamento e Utilização da Madeira) – Setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

GAMEIRO, F. **Produção de madeira envelhecida artificialmente**. Curitiba, 2015. Entrevista.

GARDNER, H. A.; SWARD, G. G. **Physical and chemical examination of paints, varnishes, lacquers and colors**. 1937.

GUEDES, J. S. **Estudo e otimização do acabamento de orlas em tampos de mesas escolares**. 43 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Setor de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2011.

GUINSKI, G. S. **IEMI lança relatório Brasil Móveis 2016**. Emobile.com.br, p. 7, 2016.

KURTOGLU, A. **Wood Material Surface Treatments**, General Information, Volume 1, Istanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industry Engineering, Istanbul, 2000.

KOLLMANN, F. P.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. 1975. 703 p.

LEITE, M. K. **Caracterização tecnológica da madeira de *Corymbia maculata*, *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus resinifera* para a aplicação no design de Produtos de Maior Valor Agregado (PMVA)**. 136 f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Produtos Florestais) - Setor de Recursos Florestais, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2014.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, MORI, C. L. S. de O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 73–77, 2008.

LOSADA, B. **Manual de pintura sayerlack**. 2011. 110 p.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage para a produção de painéis colados lateralmente**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

MORESCHI, J. C. **Propriedades Tecnológicas da Madeira**. UFPR. 2012. 192 p. UFPR. MORESCHI, J. C. **Propriedades da madeira**. UFPR. 2005. 124 p.

OLIVEIRA, D. M. **Especificações de acabamentos pintados ou envernizados para elementos construtivos exteriores em madeira.** 180 f. Dissertação (Mestrado em Construções Cíveis) - Setor de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, 2008.

OZDEMIR T, HIZIROGLU S. Evaluation of surface quality and adhesion strength of treated solid wood. **Journal of Materials Processing Technology.** 2007; 186:311-314. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2006.12.049>.

OZDEMIR, T.; BOZDOGAN, O.; MENGELOGLU, F. Effects of varnish viscosity and film thickness on adhesion strength of coated wood. **Pro Ligno**, v. 9, n. 4, p. 164 - 168, 2013.

OZDEMIR, T.; HIZIROGLU, S.; KOCAPJNAR, M. Adhesion Strength of cellulosic varnish coated wood species as function of their surface roughness. **Advances in Materials Science and Engineering**, n. 525496, p. 6, 2015.

PACE, J. H. C. **Avaliação do acabamento superficial na madeira de *Corymbia citriodora* (Hook) e *Khaya ivorensis* A. Chev.** 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Florestal) - Setor de Ciência Florestal, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2013.

PADILHA, C.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F. ANDRADE, H. B. Avaliação da qualidade da madeira de *Eucalyptus urophylla* para utilização em pisos. **Scientia Forestalis**, v. 71, p. 141 - 147, 2006.

PEREIRA, J. C. D.; HIGA, R. C. V.; SHIMIZU, J. Y. **Propriedades da Madeira do Cedrinho Japonês.** 2003. 4 f. Relatório técnico.

RAZERA, A. N.; MUÑIZ, G. I. B. Design moveleiro e a madeira tropical brasileira. 7o Congresso de Pesquisa & Desenvolvimento em Design. **Anais...2006**

ROCHA, A. **Verniz aquoso brilhante de dois componentes.** Relatório de Estágio. Porto, 2004.

SAHIN, H.; MANTANIS, G. Colour Changes in Wood Surfaces Modified By a Nanoparticulate Based Treatment. **Wood Research**, v. 56, n. 4, p. 525 - 532, 2011.

SANTOS, I. S.; LIMA, J. T.; SILVA, J. R. M. DA. Avaliação de pisos produzidos a partir de toras de clones de *Eucalyptus sp.* com pequenos diâmetros. **Cerne**, v. 16, n. 4, p. 473 - 478, 2010.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SENAI). **Acabador de móveis.** Ubá, 1995. 29 p.

SILVA, J. R. M. da; TRUGILHO, P. F.; MENDES, L. M.; CAIXETA, J.; DELLA LUCIA, R. M. Produtos utilizados no setor de acabamento de móveis de madeira. **Ciência e Agrotecnologia (UFLA)**, n. 035, p. 1 - 33, 2002.

SILVA, J. R. M. da; ALVES, J. de A.; NOGUEIRA, M. de O. G.; BRAGA, P. P. de C. Qualificação da superfície acabada em madeiras de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, *Toona ciliata* M. Roemer e *Coffea arabica* L. **Cerne**, v. 16, n. Suplemento, p. 15 - 22, 2010.

SILVA, J. D. C. **Anatomia da Madeira e suas Implicações Tecnológicas**. Viçosa, MG: UFV, 2005.

SILVA, J. R. M. da. **Relações da usinabilidade e aderência do verniz com as propriedades fundamentais do *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden**. 204 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

SOFUOĞLU, S. D.; KURTOĞLU, A. Effects of machining conditions on surface roughness in planing and sanding of solid wood. **Drvna Industrija**, v. 66, n. 4, p. 265 - 72, 2015.

SOUSA, F. R. da R. E. **Estudo do envernizamento de madeiras exóticas com vernizes aquosos**. 146 f. Dissertação (Mestrado em Ambiente Empresarial) - Setor de Engenharia Química, Universidade do Porto, Porto, 2008.

SOUZA, M. O. A. DE. **Madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. blake visando seu uso na indústria moveleira**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

SOUZA, M. O. A. de; SILVA, J. de C.; DELLA LUCIA, R. M.; EVANGELISTA, W. V. Avaliação da madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake em ensaios de usinagem, visando a produção moveleira. **Arvore**, v. 33, p. 751 - 758, 2009.

SOUZA, M. O. A. DE; SILVA, J. D. C.; EVANGELISTA, W. V. Aplicação de acabamentos superficiais em madeira de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh . e *Eucalyptus urophylla* S . T . Blake visando ao uso na indústria moveleira . **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 403 - 409, 2011.

SUVINIL, **Descrição do verniz copal**. 2016. Disponível em: <<http://www.casashow.com.br/verniz-copal-suvinil-36l/p.>> Acesso em 08 de julho de 2016.

UGULINO, B.; HERNÁNDEZ, R. E. Effects of four surfacing methods on surface properties and coating performance of red oak wood. PROCEEDINGS OF THE 22ND INTERNATIONAL WOOD MACHINING SEMINAR. **Anais...**2015.

VILAR, W. D.; **Química e Tecnologia dos Poliuretanos**, Pronor, 1993. Disponível em : <<http://www.poliuretanos.com.br/>> .Acesso em : 17 de junho de 2016.

WATAI, L. T. **Tecnologia básica em acabamentos de madeiras**, 1995.102 p.

WEG, **Relatório Anual Integrado de 2014**. 2014. Disponível em: <http://www.weg.net/ri/wp-content/uploads/2015/06/Relat%C3%B3rio-Anual-Integrado-2014.pdf>). Acesso em: Acesso em: 15 de maio de 2016.

ZAHRI, S., BELLONCLE, C., CHARRIER, F., PARDON, P., QUIDEAU, S., CHARRIER, B., UV light impact on ellagitannins and wood surface colour of European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*). **Applied Surface Science** n. 253 v.11: 4985 - 4989. 2007.

CAPÍTULO 6

UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica* PARA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE COLAGEM LATERAL (EGP)

6.1 INTRODUÇÃO

O mercado de painéis é composto por uma ampla variedade de produtos, como os painéis MDF - *Medium Density Fiberboard*, HDF - *High Density Fiberboard*, MDP - *Medium Density Particleboard*, OSB - *Oriented Strand Board*, cimento-madeira, madeira-plástico e EGP - *Edge Glued Panels*, os quais podem ser utilizados para móveis, molduras, construção civil, uso estrutural, entre outras aplicações.

De acordo a IBÁ - Indústria Brasileira de Árvores (2015), 6,8% da produção nacional de florestas é destinado à produção de painéis de madeira, mercado este, que apresentou uma produção de 7,98 milhões de m³ em 2014, ocupando assim, o 7º lugar na produção mundial.

O EGP é um painel constituído por sarrafos colados lateralmente, e por isso também é chamado de Painel Colado Lateralmente (PCL). Ainda não é muito difundido no Brasil, porém, é bastante utilizado na Europa, Ásia e Estados Unidos.

Os painéis EGP se apresentam como uma alternativa para reduzir as tensões dimensionais da madeira por constituírem uma opção sustentável para aproveitar resíduos provenientes das indústrias madeireiras, resultando em um produto final com melhores características, as quais se devem ao fato desses painéis aceitarem sarrafos com dimensões variáveis em sua produção.

Esses painéis normalmente são colados com Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI) e Acetato de Polivinila (PVA), por oferecerem as melhores condições de colagem e de custo benefício. Contudo, outros adesivos podem constituir alternativas para produzir painéis EGP estruturais e com maior resistência à umidade, como a Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF) ou a Resorcina-Formaldeído (RF).

Em relação à espécie, a mais utilizada na produção desses painéis é o *Pinus*, por apresentar rápido crescimento, propriedades razoáveis, elevada

produtividade e disponibilidade de matéria-prima. Espécies de *Eucalyptus* e a *Tectona grandis* também têm sido utilizados em menor escala, devido à grande quantidade de florestas plantadas dessas espécies e seu aspecto estético valorizado. Entretanto, é importante realizar estudos com espécies pouco conhecidas tecnologicamente para agregar conhecimento, gerar novas informações, melhorar o desempenho dos produtos existentes e encontrar novas espécies potenciais como alternativa às mais utilizadas.

A *Cryptomeria japonica*, espécie estudada neste trabalho, não é uma espécie muito difundida no Brasil para fins tecnológicos, visto que seus plantios ainda são experimentais, contudo, apresenta potencial para a construção de móveis, painéis e até mesmo para fins medicinais, como já vem sendo amplamente utilizada no Japão há milhares de anos.

6.2 OBJETIVOS

6.2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade de utilização da madeira de *Cryptomeria japonica* para a produção de painéis de colagem lateral (*Edge Glued Panel*).

6.2.2 Objetivos específicos

O presente trabalho teve por objetivos específicos:

- Determinar a massa específica e o teor de umidade dos sarrafos de *Cryptomeria japonica* utilizados para a produção dos painéis.
- Determinar as propriedades dos adesivos utilizados na colagem.
- Avaliar a qualidade de colagem da madeira de *Cryptomeria japonica* a partir de emendas *finger-joint*.
- Avaliar a qualidade de colagem da madeira de *Cryptomeria japonica* a partir da colagem lateral.
- Avaliar o efeito de diferentes adesivos sobre a qualidade de colagem da madeira de *Cryptomeria japonica*.
- Avaliar o efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem da madeira de *Cryptomeria japonica*.

6.3 REVISÃO DE LITERATURA

6.3.1 *Edge Glued Panels* (EGP)

Segundo Iwakiri (2005), Tienne et al. (2011) e Iwakiri et al. (2015), o Painel Colado Lateralmente (PCL) ou *Edge Glued Panel* (EGP) é caracterizado como um conjunto de sarrafos de madeira colados lateralmente, podendo ou não apresentar colagens de topo por meio de emendas *finger-joint*, sendo sua adesão realizada com o auxílio de adesivos. Ozkaya (2011) corrobora que dentre os painéis de madeira, esse é o que mais se aproxima do aspecto estético da madeira sólida.

A sua produção permite que a madeira seja oriunda de árvores de pequenos diâmetros como as de primeiro desbaste de reflorestamentos, o que antes podia ser resíduo, agora se transforma em um produto valioso (NAHUZ, 2004).

De acordo com Lima et al. (2008), Murara Junior e Peres (2010) e Danawade et al. (2014), além de agregar valor, esses painéis aumentam o rendimento da indústria, pois possibilitam reaproveitar sarrafos estreitos ou curtos, e até mesmo com defeitos leves, o que já foi considerado resíduo inutilizável da serraria, os quais eram descartados ou queimados como biomassa. No caso de defeitos leves, é importante que o adesivo seja resistente o suficiente para assegurar a qualidade das juntas coladas lateralmente (LIMA et al., 2008).

O *finger-joint* é uma técnica de junção de sarrafos, utilizada na produção de painel EGP, sustentável e importante do ponto de vista econômico, porque possibilita o aproveitamento total da madeira, excluindo os defeitos e unindo-a por meio de encaixes (DANAWADE et al., 2014). Johansson et al. (2001) comentam que a força de resistência das emendas dentadas cresce à medida que a largura dos dentes diminui. Contudo, a emenda *finger* ainda representa uma descontinuidade da fibra da madeira, portanto, é importante que a peça a ser transformada em emenda dentada não possua defeitos como nós mortos, fissuras ou desvio de grã principalmente na região dos dentes.

Em relação à colagem lateral, para uma adesão de boa qualidade, é necessária uma superfície de contato sem imperfeições e defeitos, limpa, suave, livre de poeira, de umidade e sem resíduos orgânicos (TSOUMIS, 1991). Por este motivo, a preparação da superfície é de extrema importância para realizar a colagem (MARTINS et al., 2011b).

De acordo com a ABIMCI (2004), o EGP é empregado na confecção de móveis, portas, pisos e também na construção civil. Ele é empregado, sobretudo na fabricação de partes e peças de móveis em madeira, visto que a própria madeira produz o efeito estético (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2005).

6.3.2 Propriedades da madeira que afetam a colagem

A madeira é um material muito versátil e bastante utilizado, em razão de sua resistência, dureza, baixo custo (frente a outros materiais) e sua robustez, é também, a matéria prima mais antiga utilizada para uso estrutural, além de ser um recurso renovável (DANAWADE et al., 2014).

De algum modo, todas as propriedades da madeira afetam o desempenho da colagem, dentre essas propriedades podemos citar: a massa específica, o teor de umidade e a retratibilidade, a rugosidade, a grã e os constituintes acidentais que influenciam a colagem (DUNKY et al., 2003; FRIHART; HUNT, 2010).

No que tange a massa específica, sabe-se que as madeiras de alta massa específica possuem poros mais fechados e alto teor de extrativos, portanto, podem apresentar dificuldades de colagem (BANDEL, 1991). Ainda, por a massa específica ser uma característica diretamente relacionada com sua porosidade, ela também irá exercer influência na penetração do adesivo na madeira (RUY, 1998; LIMA et al., 2007).

O teor de umidade ideal da madeira para realizar a sua colagem deve estar entre 2 a 12%, sendo recomendado de 2 a 8% para a prensagem em alta frequência, e de 8 a 12% para prensagem à frio (BANDEL, 1991; TSOUMIS, 1991), mas com o avanço da tecnologia de colagem de madeira, alguns fabricantes de adesivos indicam umidade de até 14%. As madeiras com baixo teor de umidade podem apresentar absorção excessiva ou mesmo uma linha de cola deficiente, além de requerer tempos em aberto menores. Por outro lado, madeiras com teor de umidade muito elevado podem obstruir a entrada de adesivo na madeira, visto que o lúmen está preenchido pela água, e assim, ocasionar um encruamento na colagem, retardam a formação do filme aumentando o tempo de prensagem e até mesmo, inibem a colagem (BANDEL, 1991).

A umidade do ar também pode exercer influência na colagem, sendo que em condições de umidade elevada, é necessário utilizar tempos em aberto e de prensagem maiores, os quais podem resultar em uma linha de cola de baixa resistência (BANDEL, 1991).

Em relação às propriedades químicas, Caixeta (2000) e Lima et al. (2007) mencionam que os componentes acidentais exercem efeitos sobre a linha de cola, como a sua migração para a superfície de contato da colagem reagindo com o adesivo, o que implica na redução da resistência da linha de cola, ou ainda impede a penetração do adesivo na madeira. Segundo Lima et al. (2007), a influência dos componentes acidentais depende de sua quantidade e de sua natureza.

6.3.3 Classificação dos adesivos

De forma geral, os adesivos podem ser classificados de acordo com as Normas EN 204:2001 e EN 205:2002, conforme o Quadro 9, em função de sua durabilidade em relação à intempéries e onde podem ser utilizados.

QUADRO 9- CLASSIFICAÇÃO DOS ADESIVOS DE ACORDO COM SUA UTILIZAÇÃO.

| Classificação | Condição de utilização |
|----------------------|---|
| D1 | Áreas internas onde a temperatura chega a 50°C ocasionalmente e por um curto período de tempo, e onde a umidade do ar chega a no máximo 15%. |
| D2 | Áreas internas com ocorrência de água de condensação por um curto período de tempo e um nível de umidade do ar que eleve a umidade da madeira até no máximo 18%. |
| D3 | Áreas internas com ocorrência frequente de água escorrendo por um curto período e/ou presença de elevada umidade do ar por longo período. Áreas externas protegidas de intempéries. |
| D4 | Áreas internas com forte e frequente presença de água corrente ou de condensação. Áreas externas expostas às intempéries, porém, com proteção adequada das superfícies. |

FONTE: EN 204 (2001).

O grupo D1 requer menor nível de exigência (são indicados à uso interior em ambientes que apresente condições de umidade de equilíbrio de 15%), em contrapartida, o grupo de maior exigência é o D4, os quais são indicados à uso exterior, porém, com algum tipo de proteção, portanto, demanda pré-tratamentos mais severos em seus ensaios (JOHANSSON et al., 2001; PRATA, 2010; MARTINS, 2011; ALMEIDA, 2013).

O adesivo Acetato de Polivinila (PVA) quando aplicado para montagem, superfícies ou revestimentos é classificado como D3, o PVA, EPI e o MUF que são utilizados em colagens à prova d'água e de maior durabilidade são qualificados como D4 (NENNEWITZ et al., 2012).

6.3.4 Adesivos indicados para colagem lateral e de topo

De acordo com Iwakiri et al. (2015), os adesivos mais utilizados para a produção de painéis EGP são o Poliacetato de Vinila (PVA) e a Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI).

Lopes (2008), Conti (2011) e Iwakiri et al. (2015) descrevem que o adesivo PVA é conhecido também como “cola branca”, e é um dos mais utilizados pela indústria de móveis. De acordo com os mesmos autores, consiste em um produto sintético, proveniente da polimerização desse acetato, disperso em água. Conti (2011) acrescenta que os adesivos vinílicos são utilizados na colagem de madeiras na montagem de painéis sarrafeados, no revestimento, na união de juntas de topo ou lateral e de outros painéis com lâminas de madeira.

De acordo com Dunky et al. (2003) e Nennewitz et al. (2012), as vantagens dos adesivos PVA a serem citadas são: a praticidade de utilização, o baixo tempo de processamento, flexibilidade na união, é pouco abrasivo, transparente, oferece segurança ao operador e facilidade de manuseio, inodoro, não inflamável, baixo custo, rápida secagem, facilidade de limpeza, além de permitirem um elevado tempo de armazenagem e preservarem as ferramentas; como desvantagens são termoplásticos e sofrem fadiga. Jesus (2000) complementa que o PVA é um adesivo com vida útil longa, alta estabilidade química e física, é resistente à ação de micro-organismos, além de apresentar boas propriedades de contato.

O adesivo PVA também apresenta alta resistência mecânica em ambiente seco, porém, possui limitações de uso em ambientes com altas temperaturas e umidade relativa (PIZZI, 1983; IWAKIRI et al., 2015). Segundo a norma DIN EN 204:2001 e EN 205:2002 o adesivo PVA é classificado de D2 a D4 dependendo de sua aplicação e formulação.

O EPI é um adesivo bicomponente, constituído de uma base de Poli (acetato de Vinila), a qual é combinada com um Isocianato polimérico (difenilmetano-diisocianato – MDI).

Segundo Zimmerman (2006) e Henkel Ltda. (2010), o EPI é resistente, porém flexível, apresenta uma colagem forte, boa estabilidade, alta resistência à alta temperatura, à água e à solventes, contribuindo para a durabilidade da madeira, além da cura rápida, o que permite maior produtividade e processamento rápido. Outra grande vantagem deste tipo de adesivo, conforme Sellers Jr (1994), é a emissão quase nula de formaldeído e outros gases perigosos no ar. Segundo as normas EN 204:2001 e EN 205:2002, o EPI pode ser classificado como D4 devido ao fato de ser indicado à uso externo e com grande solicitação de carga.

Os adesivos aquosos a base de Isocianato (EPI) estão ocupando um espaço cada vez maior no mercado mundial, devido a sua grande variedade de aplicações estruturais e não estruturais, sendo uma alternativa viável com grande resistência para colagem de madeira (OLIVEIRA et al., 2008).

Outro adesivo que pode ser uma alternativa para a colagem é a Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF), a qual é uma resina bicomponente que forma uma linha de cola transparente, bastante utilizada para a colagem de painéis OSB, aglomerados e compensados. É uma resina indicada para uso estrutural e para uso exterior, pois é muito resistente a umidade (AZAMBUJA, 2006; CRUZ, 2006).

A resina MUF é classificada como um adesivo aminoplástico (DUNKY et al., 2003). É um polímero termorrígido, produzido por uma reação de condensação entre a melamina, a ureia e o formaldeído, o qual pode proporcionar vários graus de resistência à água e ao tempo (AZAMBUJA, 2006). Segundo Johansson et al. (2001), a resina MUF pode ser classificada como D4 segundo as normas EN 204:2001 e EN 205:2002, oferecendo boa resistência à umidade e estabilidade.

Quanto à sua produção, os fabricantes de resinas para madeira, estão produzindo resinas compostas como a Melamina-Uréia-Formaldeído (MUF), em escala comercial, para aplicações semi-estruturais, adequando a resistência à umidade com custos acessíveis (IWAKIRI et al., 2005).

6.3.5 Propriedades dos adesivos

Segundo Bandel (1991), as propriedades de um adesivo que exercem maior influência são sua viscosidade, teor de sólidos, densidade e pH, no entanto, a reatividade do adesivo também pode ser interessante à caracterização de um adesivo, pois consiste na velocidade em que a resina se torna uma estrutura sólida de maneira irreversível.

Com base em dados fornecidos pelos fabricantes, conforme a Tabela 17, obteve-se os seguintes valores para as propriedades dos adesivos:

TABELA 17 – DADOS DE PROPRIEDADES DOS ADESIVOS FORNECIDOS PELOS FABRICANTES.

| | PVA D3 | PVA D4 | EPI |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|---------------------|
| Viscosidade | 2.500 – 3.500 ^b | 3.500 – 7.000 ^b | 10.000 ^a |
| pH | 3,5 – 4,5 ^b | 4,0 – 5,0 ^b | 7,0 ^a |
| Teor de sólidos | - | 50% | |

* Valores de viscosidade em cPs.

FONTE : a HENKEL (2010); b HENKEL (2013).

Inicialmente, a viscosidade é uma propriedade que pode ser conceituada como a resistência de um líquido em escoar, ou a resistência ao fluxo livre entre partículas contidas entre camadas (IWAKIRI, 2005; ALMEIDA, 2013).

Segundo Almeida (2013), a viscosidade influencia em vários aspectos, onde a alta viscosidade pode resultar em dificuldade de espalhamento do adesivo sobre a superfície devido à baixa fluidez, condições inadequadas de umectação e menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, formando uma linha de cola mais espessa, ocasionando ligação insuficiente no sistema madeira-adesivo e qualidade inferior da colagem. Por outro lado, a baixa viscosidade pode proporcionar maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira e, em situação extrema poderá resultar em linha de cola “faminta” (IWAKIRI, 2005).

Bandel (1991) relata que adesivos com baixa viscosidade não possuem necessariamente o maior teor de água, pois alguns adesivos possuem alto teor de sólidos e possuem baixa viscosidade. De acordo com mesmo autor, os adesivos mais viscosos são indicados para aplicação em madeiras porosas.

Para a propriedade pH, é importante considerar a influência do pH tanto da madeira como da resina, onde o mesmo não deve ultrapassar a faixa de 2,5 a 11. Valores elevados de pH podem proporcionar a degradação das fibras da madeira, por outro lado, um pH demasiadamente baixo pode gerar formação excessiva de espuma prejudicando o rendimento do adesivo (IWAKIRI, 2005).

Em relação ao teor de sólidos dos adesivos, Bandel (1991) menciona que quanto maior à quantidade de água, menor a porcentagem do teor de sólidos na resina, e mais lenta a velocidade de formação da película devido ao tempo de evaporação da água.

6.3.6 Gramatura aplicada à colagem lateral

Algumas variáveis importantes para avaliar a resistência da linha de cola são a pressão, a gramatura e o teor de umidade da madeira (LOPES, 2008).

A gramatura consiste na quantidade de adesivo aplicado na união das peças, e é considerada ideal quando a madeira apresentar o espaço entre as peças totalmente preenchido pelo adesivo, resultando na formação de uma linha de cola resistente (CORRÊA, 1997). Segundo Lopes (2008), a faixa de gramatura mais utilizada pela indústria situa-se faixa de 180 a 220 g/m².

A gramatura de adesivo a recobrir a superfície da madeira pode ser influenciada tanto pela porosidade da madeira como pela viscosidade do adesivo, resultando em diferentes graus de penetrabilidade nos poros da madeira, e muitas vezes apresentando diferentes resultados para uma mesma espécie (MARRA, 1992).

De acordo com Iwakiri (2005), é importante monitorar a formulação e a quantidade de adesivo a ser aplicada à madeira, pois esse é um fator que pode influenciar o processo de colagem. Cada fabricante tem recomendações específicas de gramatura a ser aplicada e pressão de trabalho que devem ser levadas em consideração (ALMEIDA, 2013).

A gramatura é uma variável a qual influencia diretamente na resistência mecânica de um painel, tanto no caso de se utilizar uma quantia menor que o ideal, mas também para uma quantidade excedente ao recomendado (BILA, 2014).

A quantidade de adesivo aplicada à colagem lateral não deve ser muito elevada para que se evite o desperdício de adesivo, o aumento do tempo em aberto e do tempo de prensagem, visto que a quantidade de água a evaporar será maior a medida que se aumenta a gramatura de adesivo (MARRA, 1992). Em contrapartida, para gramaturas muito baixas, a resistência na linha de cola será inferior, pois não oferecerá aderência suficiente, podendo formar uma linha de cola faminta (BANDEL, 1991; MARRA, 1992).

Em madeiras de massa específica leve, as gramaturas mais elevadas produzem juntas coladas de maior resistência do que em madeiras de massa específica elevada (NASCIMENTO et al. 2002). Porém, Prata (2010) e Iwakiri et al. (2015) constataram em seus estudos que a resistência da linha de cola não foi influenciada pelo aumento da gramatura aplicada.

De maneira geral, a quantidade de adesivo ou a gramatura pode ser determinada em função da espécie de madeira e do produto final, consumindo a menor quantidade de adesivo, sem prejudicar a resistência da emenda (BILA, 2014).

6.4 MATERIAIS E MÉTODOS

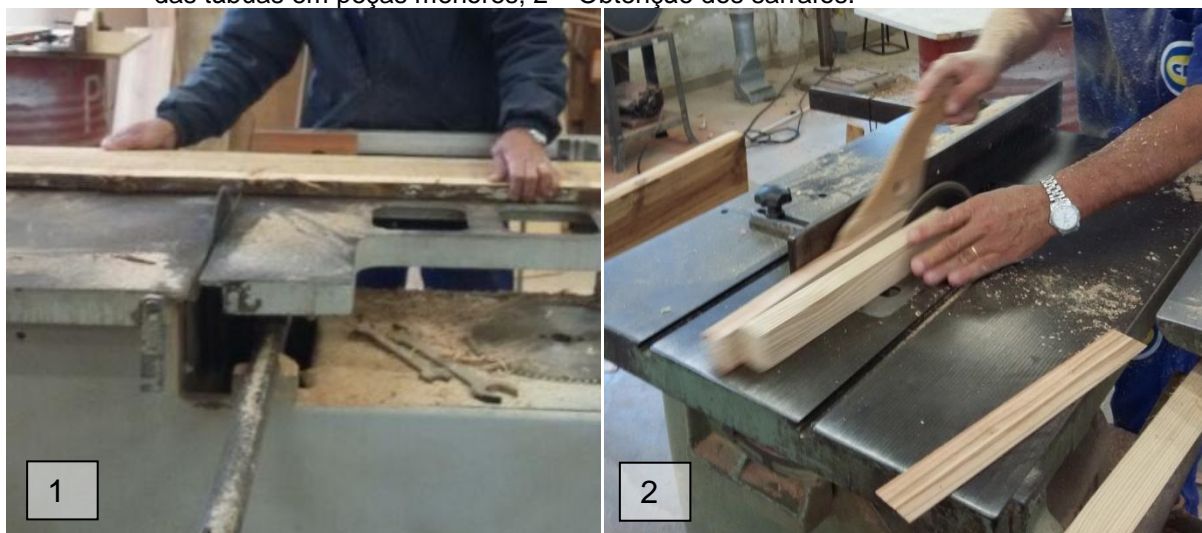
6.4.1 Material utilizado

Para o desenvolvimento deste capítulo foi utilizada a madeira de *Cryptomeria japonica* cuja origem e descrição do material está apresentada no **Cap. 3, pg. 44.**

6.4.2 Preparação dos sarrafos para a colagem

As madeiras foram obtidas na forma de tábuas, as quais foram serradas e aplainadas, conforme a Figura 27, para produção de sarrafos com dimensões de 31,0 (comprimento) x 5,0 (largura) x 2,0 cm (espessura), para confecção das juntas coladas. Foram preparados 84 sarrafos para a colagem *finger-joint* e 90 sarrafos para a colagem lateral.

FIGURA 27 - OBTENÇÃO DOS SARRAFOS DE MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*. 1 – Redução das tábuas em peças menores; 2 – Obtenção dos sarrafos.



Fonte: A autora (2016).

6.4.3 Determinação das propriedades físicas dos sarrafos

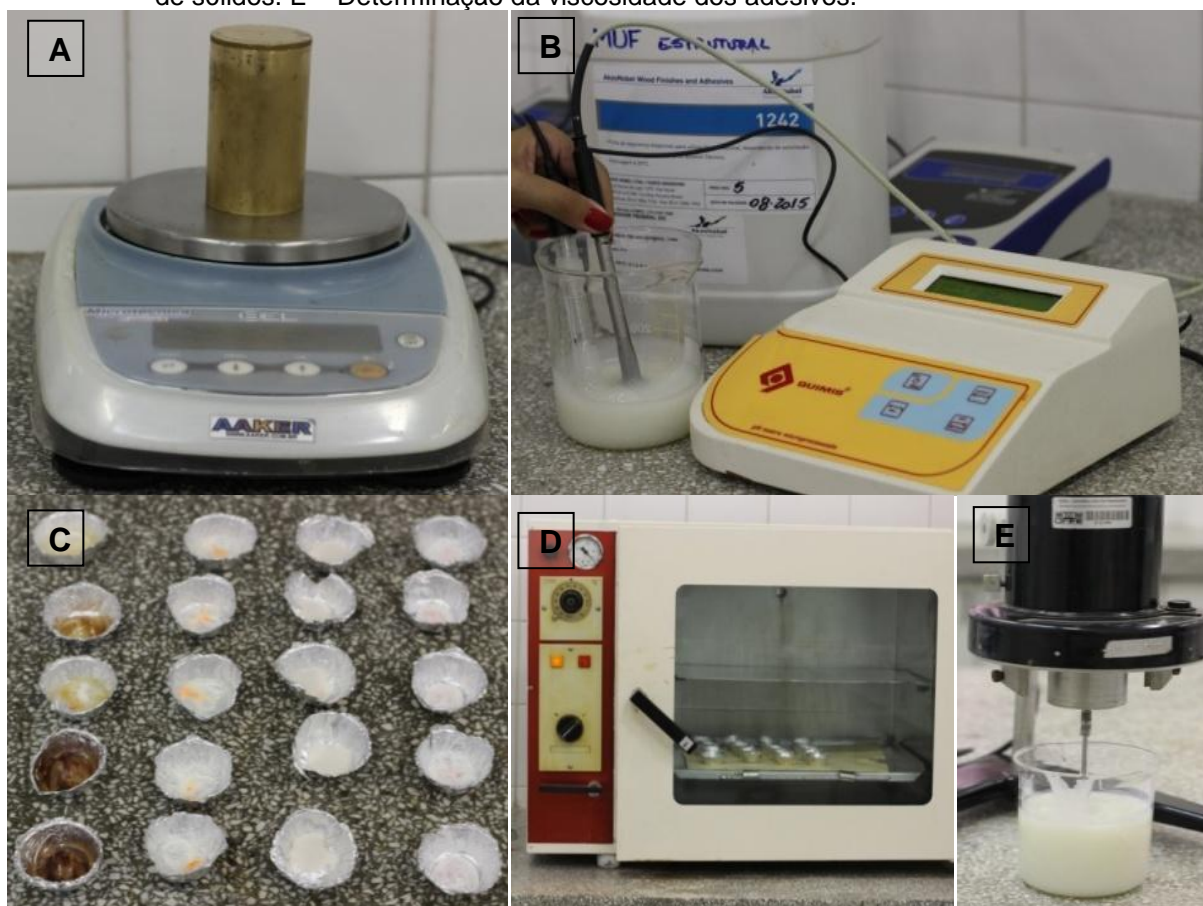
Após a preparação dos sarrafos, todas as peças foram mensuradas para a determinação da massa específica aparente, e em seguida, amostrou-se algumas delas para a determinação do teor de umidade.

A massa específica aparente foi determinada de acordo com a norma EN-323:2000 – *Wood-based panels – Determination of density*. O teor de umidade dos sarrafos foi determinado segundo a norma EN – 322:2000 – *Wood-based panels – Determination of moisture content*.

6.4.4 Propriedades dos adesivos

Os adesivos utilizados para a colagem lateral e de topo foram o PVA D3, PVA D4, EPI e MUF, sendo que suas propriedades foram avaliadas através da determinação da viscosidade, densidade, pH e teor de sólidos, conforme a Figura 28. Essas propriedades foram determinadas de acordo com as normas EN 19.092:2000, EN 542:2003, EN 1245:2011 e EN 827:2006, respectivamente.

FIGURA 28 - ETAPAS DA DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS ADESIVOS. A – Determinação da densidade do adesivo com auxílio do picnômetro. B – Determinação do pH dos adesivos. C – Teor de sólidos das amostras. D – Secagem das amostras de teor de sólidos. E – Determinação da viscosidade dos adesivos.



Fonte: A autora (2016).

6.4.5 Colagem da emenda *finger-joint*

Os sarrafos destinados a colagem de topo foram encaminhados até uma indústria de painéis EGP para seu processamento e posterior colagem. As ranhuras *finger-joint* foram efetuadas em uma das extremidades de cada sarrafo em fresa perfiladora, conforme a Figura 29, simulando condições da produção. Após a execução dos cortes, foi aplicado o adesivo PVA D4, em função de ser um dos adesivos mais utilizados pela indústria para este tipo de colagem.

FIGURA 29 - PRODUÇÃO DE EMENDAS *FINGER-JOINT* POR MEIO DO PROCESSO UTILIZADO NAS INDÚSTRIAS.



FONTE: A autora (2016); LÍNEA (2016).

O adesivo foi aplicado em 50% do comprimento do dente do *finger-joint*, de modo a preencher metade dos dentes. Após a aplicação do adesivo, os sarrafos foram prensados em uma prensa industrial, com um tempo de prensagem de 5 minutos por emenda e pressão de 1,5 MPa.

6.4.6 Colagem lateral

Os sarrafos destinados à colagem lateral foram selecionados identificando a melhor face de colagem, bem como, com menor incidência de defeitos ou livre dos mesmos.

A colagem lateral foi realizada no Laboratório de Painéis de Madeira da UFPR, utilizando os adesivos PVA classe D3, PVA classe D4, Melamina Uréia Formaldeído (MUF) e Emulsão Polimérica de Isocianato (EPI), nas gramaturas de 100, 120, 140, 160 e 180 g/m², conforme delineamento experimental apresentado na Tabela 18. Sendo que foi aplicado 5% de catalisador para o PVA D4, 15% de catalisador para o adesivo EPI e 20% de catalisador para o MUF.

TABELA 18 - DELINEAMENTO EXPERIMENTAL PARA A COLAGEM LATERAL.

| Tratamento | Adesivo | Gramatura (g/m²) | Tempo de Prensagem (horas) |
|-------------------|----------------|--|---|
| 1 | PVA D3 | 100 | 2 |
| 2 | PVA D3 | 120 | 2 |
| 3 | PVA D3 | 140 | 2 |
| 4 | PVA D3 | 160 | 2 |
| 5 | PVA D3 | 180 | 2 |
| 6 | PVA D4 | 100 | 2 |
| 7 | PVA D4 | 120 | 2 |
| 8 | PVA D4 | 140 | 2 |
| 9 | PVA D4 | 160 | 2 |
| 10 | PVA D4 | 180 | 2 |
| 11 | EPI | 100 | 1 |
| 12 | EPI | 120 | 1 |
| 13 | EPI | 140 | 1 |
| 14 | EPI | 160 | 1 |
| 15 | EPI | 180 | 1 |
| 16 | MUF | 100 | 5 |
| 17 | MUF | 120 | 5 |
| 18 | MUF | 140 | 5 |
| 19 | MUF | 160 | 5 |
| 20 | MUF | 180 | 5 |

PVA D3: Poliacetato de vinila classe D3; PVA D4: Poliacetato de vinila classe D4; EPI: Emulsão polimérica de isocianato; MUF: Melamina-uréia-formaldeído.

A prensagem foi realizada em condição fria, em um aparato constituído de dois perfis de ferro em formato “U” com pressão específica foi de 0,63 MPa exercida por meio de um torquímetro (30 N.m), e foi igual para todos os tratamentos. O tempo de prensagem foi definido de acordo com as instruções do fabricante do adesivo,

conforme a tabela acima. Foram colados 10 sarrafos por tratamento, os quais geraram 5 repetições.

6.4.7 Avaliação das propriedades dos painéis

Após a climatização, as juntas coladas foram seccionadas para obtenção dos corpos de prova para os ensaios de avaliação da qualidade de colagem de topo a partir das emendas *finger joint*, e da colagem lateral.

6.4.7.1 Avaliação da colagem das emendas *finger-joint*

Os corpos de prova da colagem *finger-joint* foram obtidos aos pares (dois a dois) em função do ensaio realizado (tração/flexão).

A avaliação da qualidade de colagem das emendas de topo foram realizadas de acordo com os procedimentos da norma ASTM 5572:2005 - *Standard Specification for Adhesives Used for Finger-Joints in Nonstructural Lumber Products*, por meio dos ensaios de resistência à tração e à flexão estática.

Após a medição, as amostras foram submetidas a diferentes pré-tratamentos, conforme recomendado pela referida norma, e apresentado no Quadro 10.

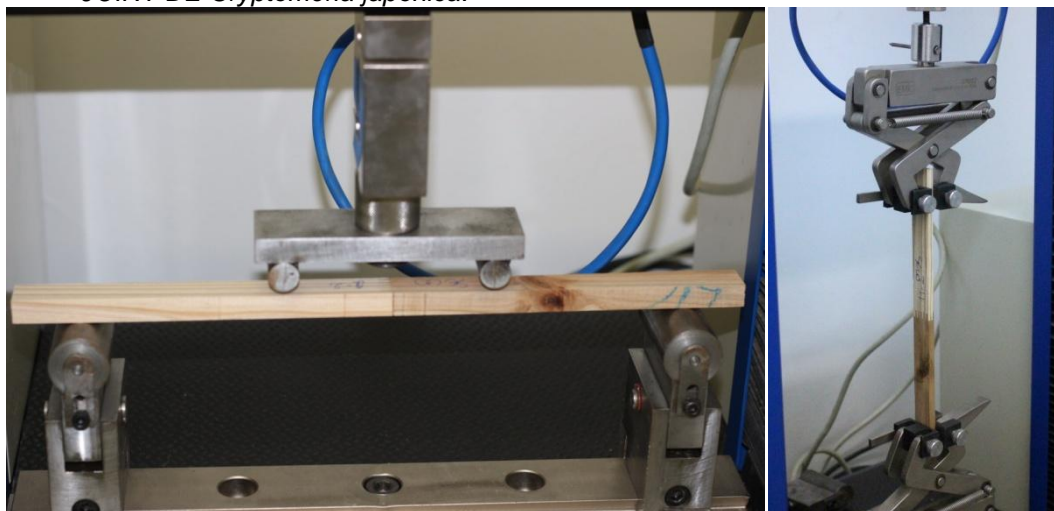
QUADRO 10 - PRÉ-TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DA COLAGEM DE TOPO CONFORME NORMA ASTM 5571:1995.

| Pré-tratamento | Procedimentos |
|------------------|--|
| Seco | O corpo de prova é ensaiado a seco |
| Alta Temperatura | 6 horas em estufa à $104 \pm 3^\circ\text{C}$ com posterior ensaio dos corpos de prova na condição quente |
| Ciclo Triplo | Imersão em água fria (25°C) por 4 horas com posterior secagem por 19 horas em estufa à $41 \pm 3^\circ\text{C}$ - Repetir o ciclo por 3 vezes e ensaiar na condição ambiente |

FONTE: ASTM 5572 (2005).

Os corpos de prova foram avaliados em uma máquina universal de ensaios EMIC, conforme a Figura 30, com célula de carga de 2 toneladas/20000N, com aparatos específicos para cada ensaio. Após o ensaio, foi realizada a quantificação do percentual de falha na madeira para os corpos de prova em ensaio de tração.

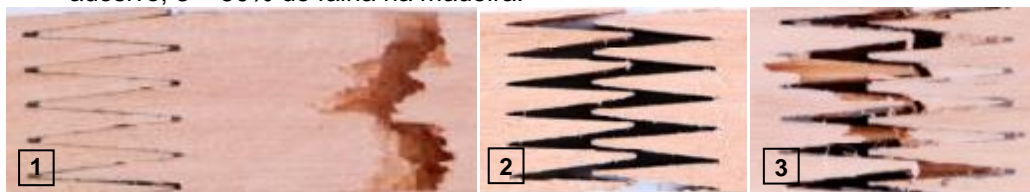
FIGURA 30 - ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA E ENSAIO DE TRAÇÃO DA EMENDA *FINGER-JOINT* DE *Cryptomeria japonica*.



Fonte: A autora (2016).

Os resultados de resistência obtidos para as emendas *finger-joint* para o ensaio de tração, foram comparados com os requisitos solicitados pela norma 5572:2005, que indica que a emenda apresente resistência superior a 13,8 MPa para o ensaio testado em condição seca e falha da madeira superior a 60% e superior de 6,9 MPa para o ensaio de ciclo triplo, sendo a falha da madeira superior a 30% conforme a Figura 31. Para o ensaio de alta temperatura não são estipulados valores, assim como para o ensaio de flexão.

FIGURA 31 - AVALIAÇÃO VISUAL DAS FALHAS NA MADEIRA. 1- Falha na madeira; 2- Falha no adesivo; 3 – 50% de falha na madeira.

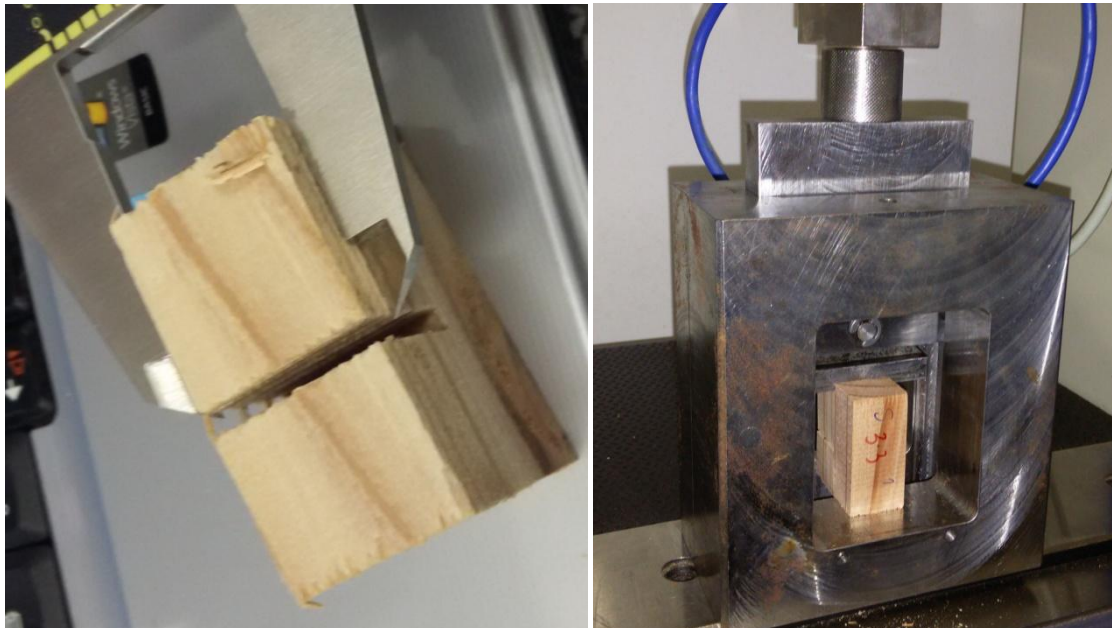


FONTE: Norma 5572:1995 adaptada por SERRANO (2008).

6.4.7.2 Avaliação da resistência da colagem lateral

A avaliação da resistência da colagem lateral, foi realizada utilizando as normas: EN 13353:2003 - *Solid wood panels (SWP) – Requirements* e EN 13354:2003 - *Solid wood panels – Bonding quality – Test method*, por meio do ensaio de cisalhamento da colagem lateral, conforme a Figura 32, e com 15 repetições por tratamento e condição de ensaio.

FIGURA 32 - ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA COLAGEM LATERAL.



Fonte: A autora (2016).

Os corpos de prova foram ensaiados em máquina de ensaios universal EMIC, após passarem por diferentes pré-tratamentos, conforme sugerido pela norma EN13354:2003, e descritos no Quadro 11.

QUADRO 11 - CONDIÇÕES DE PRÉ-TRATAMENTO DOS CORPOS DE PROVA DA COLAGEM LATERAL CONFORME EN13354:2003.

| Pré-tratamento | Procedimento |
|-----------------------|---|
| Seco | O corpo de prova é ensaiado a seco |
| Imersão em água | O corpo é imerso em água a temperatura ambiente (25°C) por 24 horas |
| Fervura | 6 horas de fervura em banho-maria a 100°C 1 hora de imersão em água fria para resfriamento |
| Ciclo | 4 horas de fervura em banho-maria a 100°C 16 – 20 horas de secagem em estufa a 60°C 4 horas de fervura em banho maria a 100°C 1 hora de imersão em água fria para resfriamento |

FONTE: EN 13353 (2003).

Os pré-tratamentos são importantes para que se exponha a linha de cola as mais adversas situações. O número ou tipo de pré-tratamentos foi arbitrado de acordo com a norma EN 13353/13354:2003, conforme o tipo de adesivo e suas condições de uso, sendo:

- PVA D3: Ensaio seco e imersão em água;
- PVA D4: Ensaio seco, imersão em água e fervura;
- EPI: Ensaio seco, imersão em água e fervura;
- MUF: Ensaio seco, imersão em água, fervura e ciclo;

Após o ensaio foi realizada a avaliação da falha da madeira, de acordo com a norma EN 314-1:2002. Os resultados de resistência obtidos para as juntas coladas foram comparados com os requisitos da norma EN 13354:2003, que solicita que a emenda apresente um valor mínimo de 5º percentil superior de 2,5 MPa, se este não for atendido, requisita-se que a falha da madeira deve ser superior a 40%, exceto no caso da madeira ensaiada apresentar massa específica acima de 0,600 g/cm³.

6.4.8 Análise estatística

Os resultados das propriedades físicas dos sarrafos foram submetidos à análise estatística, obtendo-se valores médios, mínimos e máximos, bem como ao Teste de *Grubb's* para avaliar a ocorrência de *outliers*.

Os resultados do ensaio de resistência das emendas *finger-joint*, foi avaliado por meio de resultados médios, coeficiente de variação e o Teste de *Grubb's* para avaliar a ocorrência de *outliers*.

Os resultados de resistência ao cisalhamento da colagem lateral foram avaliados por meio de um delineamento fatorial 4x5, sendo 4 tipos de adesivos e 5 gramaturas, respectivamente para os adesivos PVA D3, PVA D4, EPI e MUF e gramaturas de 100, 120, 140, 160 e 180 g/m². Utilizou-se o Teste de *Grubb's* para avaliar a ocorrência de *outliers*, o teste de *Bartlett* para verificar a homogeneidade de variância e a Análise de variância em arranjo fatorial. Quando a Anova indicou a ocorrência de diferença estatística significativa, utilizou-se o teste de comparação de médias de *Tukey*. Todos os testes foram efetuados a partir do pacote estatístico *Statgraphics Centurion XVI*, com 95% de confiabilidade.

6.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.5.1 Massa específica aparente dos sarrafos

Os valores médios da massa específica aparente e do teor de umidade dos sarrafos de *Cryptomeria japonica* são apresentados na Tabela 19.

TABELA 19 - MASSA ESPECÍFICA E TEOR DE UMIDADE DOS SARRAFOS DE *Cryptomeria japonica*.

| | Massa Específica Aparente (g/cm³) | Teor de Umidade (%) |
|--------|---|--------------------------------|
| Mínimo | 0,300 | 14,0 |
| Média | 0,503 | 14,3 |
| Máximo | 0,624 | 14,6 |
| CV (%) | 11,12 | 2,10 |

CV: Coeficiente de variação.

A massa específica aparente a 12% foi medida a partir da medição de todos os sarrafos, e foi compatível com valores encontrados na literatura e no Capítulo 2: 0,400 g/cm³ (CARPANEZZI et al., 1988); 0,360 g/cm³; 0,393 e 0,473 g/cm³ (PINTO, 2011); e 0,433 g/cm³ (IWAKIRI et al., 2015). O coeficiente de variação encontrado foi baixo, o que indica boa homogeneidade das amostras.

A massa específica do presente estudo pode ser considerada entre baixa e média, é uma madeira porosa, o que segundo Ruy (1998) e Lima et al. (2007) poderá influenciar diretamente na penetração do adesivo na madeira. A *Cryptomeria japonica* não apresentou dificuldades de colagem nem para a colagem lateral e nem para a colagem de topo, como ocorre com as madeiras de alta massa específica, que possuem poros mais fechados e o adesivo não consegue penetrar na sua superfície (BANDEL, 1991).

Sellers (1994) corrobora que madeiras de massa específica leve a média, como é o caso do presente estudo, não demandam adesivos de elevada resistência e nem exigem procedimentos de colagem especiais. Essas informações demonstram que a massa específica encontrada foi adequada para a colagem tanto das juntas coladas, bem como para o *finger-joint*, pois não exerceu influência sobre a penetração do adesivo.

As madeiras de massa específica acima de 0,7 g/cm³ não são indicadas para a produção de painéis EGP, pois a partir desse valor, a linha de cola apresenta uma tendência em diminuir a sua resistência (MARRA, 1992).

O teor de umidade médio foi de 14,3%, ideal para a colagem segundo os fabricantes dos adesivos utilizados. Bandel (1991) e Tsoumis (1991) relatam, de maneira geral, que o teor de umidade da madeira ideal para colagens a frio seria de 8 a 12% de umidade, no entanto, mesmo com o acondicionamento o teor de umidade se manteve em torno de 14%. Outro fato a ser observado é a pequena faixa de intervalo desta propriedade (14,0 a 14,6%). Resultado similar foi relatado por Prata (2010), que utilizou sarrafos com teor de umidade semelhante a este.

6.5.2 Propriedades dos adesivos

Os resultados das propriedades dos adesivos determinadas neste experimento estão apresentados na Tabela 20, juntamente com os dados fornecidos pelos fabricantes, e, encontrados na literatura.

TABELA 20 – RESULTADOS MÉDIOS DAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DOS ADESIVOS.

| Adesivo | Dados obtidos | | | Dados do fabricante/literatura | | |
|---------|-------------------|-------------|------|--------------------------------|-------------------|------------------|
| | Viscosidade (cPs) | Sólidos (%) | pH | Viscosidade (cPs) | Sólidos (%) | pH |
| PVA D3 | 4.083 | 55,15 | 3,93 | 3.500 - 5.500 | 42 - 47 | 3,5 – 4,5 |
| PVA D4 | 7.675 | 51,56 | 4,42 | 3.500 – 7.000 | 44 - 50 | 4,0 – 5,0 |
| EPI | 12.147 | 49,31 | 8,99 | 11.500 ¹ | 50 ² | 7,0 ² |
| MUF | 30.569 | 29,73 | 7,38 | 10.861 ¹ | 62,4 ² | 9,0 ³ |

¹Gonçalves et al. (2016); ²Henkel (2010); ³Iwakiri (2005).

Os adesivos PVA D3 e PVA D4 apresentaram propriedades compatíveis com as informações do fabricante, o teor de sólidos do adesivo D3 e a viscosidade do adesivo D4 se apresentaram um pouco acima do informado.

Para os adesivos EPI e MUF não foi possível encontrar as informações do fabricante, desta forma, foram realizadas comparações com outros autores. O EPI apresentou valores compatíveis com Gonçalves et al. (2016) e Henkel (2010), entretanto, a resina MUF apresentou valor superior ao relatado pela literatura para a viscosidade, e valor inferior para o teor de sólidos. Menor teor de sólidos indica maior quantidade de água, demandando maior tempo de cura e prensagem.

Os valores das propriedades determinadas em laboratório indicam que os adesivos se apresentaram adequados para a aplicação, e que não houve influência negativa sobre a qualidade de colagem das juntas.

O não atendimento às especificações poderia resultar em problemas como, degradação da madeira ou a dificuldade na aplicação do adesivo devido à relação-adesivo, linha de cola faminta ou espessa, baixa coesão e resistência da linha de cola (BANDEL, 1991).

Conforme relataram Bandel (1991) e Marra (1992), adesivos com alta viscosidade, como o MUF, podem apresentar dificuldades de impregnar na superfície da madeira. Já adesivos com teor de sólidos muito baixo podem apresentar um tempo muito elevado para solidificar, e podem gerar linhas de cola menos resistente e sugerindo em algumas situações, aumento da gramatura. Em compensação, os adesivos com teor de sólidos mais elevado proporcionam uma adesão de melhor qualidade.

6.5.3 Avaliação da colagem *finger-joint*

Os resultados da avaliação da resistência das emendas *finger-joint* sob os esforços de tração e flexão estática são apresentados na Tabela 21.

TABELA 21 – RESULTADOS MÉDIOS DA RESISTÊNCIA DAS EMENDAS *FINGER-JOINT* EM ENSAIOS DE TRAÇÃO E FLEXÃO.

| Pré-tratamento | Tração (MPa) | Falha na madeira (%) | Flexão (MPa) |
|------------------|-----------------|-------------------------|-----------------|
| Seco | 21,3 (33,8) | 67 | 41,0 (15,5) |
| Alta temperatura | 20,8 (34,6) | 15 | 8,4 (35,6) |
| Ciclo triplo | 24,4 (21,1) | 35 | 26,4 (26,6) |

Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

Dentre os três pré-tratamentos, o que apresentou os melhores resultados para o teste de resistência a tração das emendas *finger-joint* foi o ensaio de ciclo triplo, com 24,4 MPa. Este resultado pode ser justificado segundo Dunky et al. (2003) e Nennwitz et al. (2012), que relatam que o adesivo PVA D4 é um adesivo termoplástico, ou seja, ele amolece e penetra na madeira com o aumento da temperatura e enrijece assim que a amostra é imersa em água fria, aumentando a resistência da linha de cola.

O menor valor médio encontrado foi para o pré-tratamento em alta temperatura, porque provavelmente quando submetida à alta temperatura, a linha de cola começa a degradar, diminuindo sua resistência.

As emendas dentadas atingiram os requisitos mínimos sugeridos pela norma ASTM 5572:2005 para a tração, os quais são de 13,8 MPa para a condição seca e de 6,9 MPa para os demais pré tratamentos (alta temperatura e ciclo triplo).

Para o ensaio de tração na condição seca, com adesivo PVA D4, a *Cryptomeria japonica* apresentou valores inferiores aos valores estudados por Prata (2010), o qual relatou *Pinus taeda* com resistência a tração de 24,5 MPa e *Pinus maximinoii* com resistência de 27,42 MPa.

Azambuja (2006) estudou as espécies *Pinus hondurensis*, *Eucalyptus grandis* coladas com o adesivo PVA Cascorez, e encontrou valores de resistência à tração de 55,4 MPa e 56,9 MPa, respectivamente, os quais foram valores superiores aos relatados para o cedro japonês do presente estudo.

Para o ensaio de resistência à flexão das emendas dentadas, o maior resultado foi para o pré-tratamento a seco, com 41,0 MPa de resistência.

Em comparação com os valores mínimos sugeridos pela norma ASTM 5572:2005 para o ensaio de flexão estática, a *Cryptomeria japonica* pode ser considerada uma espécie potencial para a utilização de emendas *finger-joint*, pois atingiu todos os valores requisitados pela norma, os quais são de 13,8 MPa para a condição seca e de 6,9 MPa para o ciclo triplo, e nenhum valor é estipulado para o pré-tratamento em alta temperatura.

Em relação à pesquisa de Prata (2010), a *Cryptomeria japonica* apresentou valores compatíveis para o pré-tratamento a seco para *Pinus tecunumanii* (41,1 MPa), e superiores ao *Pinus taeda* (33,1 MPa), *Pinus chiapensis* (35,3 MPa), *Pinus caribaea* var. *hondurensis* (35,3 MPa), *Pinus maximinoii* (38,5 MPa) e *Pinus oocarpa* (40,0 MPa). Danawade et al. (2014) relataram um valor médio de 41,6 MPa para o ensaio de flexão, para emendas dentadas com madeira de *Tectona grandis*, um valor semelhante ao encontrado para a *Cryptomeria japonica*.

No que tange o ensaio de flexão estática, no pré-tratamento de alta temperatura e ciclo triplo com adesivo PVA D4, a *Cryptomeria japonica* apresentou valores bem inferiores do que o *Pinus taeda* estudado por Prata (2010), o que pode ter ocorrido em função das particularidades das espécies ensaiadas.

Martins (2011) encontrou valores superiores para o *Eucalyptus benthamii* utilizando os adesivos PUR e PVAc classe D4, sendo que o PVA foi superior ao PUR, cujos valores foram de 46,4 MPa para o PUR e de 68,0 MPa para o PVA D4, ambos superiores à *Cryptomeria japonica* do presente estudo, independente do adesivo utilizado.

Vassiliou, Barboutis e Karastergiou (2007) estudaram a resistência à flexão das emendas *finger-joint* de madeira de *Fagus sylvatica* e aplicação dos adesivos PVA D1, D2 e D3, e o adesivo que apresentou a maior resistência foi o PVA D3. Os valores encontrados foram superiores aos resultados obtidos pelo presente estudo, em função da natureza das espécies estudadas por ambas pesquisas.

6.5.4 Avaliação da resistência da colagem lateral

6.5.4.1 Efeito do tratamento na colagem lateral

Os resultados médios do efeito do tratamento sobre a colagem lateral da madeira de *Cryptomeria japonica* são apresentados na Tabela 22.

TABELA 22 - RESULTADOS DO EFEITO DO TRATAMENTO SOBRE A QUALIDADE DE COLAGEM LATERAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Tratamento | Seco | | | Água fria | | | Fervura | | | Ciclo | | |
|-------------------|------------------------|-------------|-----------|-------------------|-------------|-----------|------------------------|-------------|-----------|-----------------|-------------|-----------|
| | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | Falha (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | Falha (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | Falha (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | Falha (%) |
| 1 – PVA D3 x 100 | 7,4 abc (25,8) | 2,7 | 39 | 2,1 e (35,2) | 2,1 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 2 – PVA D4 x 100 | 7,0 abc (32,8) | 2,7 | 13 | 3,0 cd (29,3) | 2,0 | 0 | 1,2 e (48,5) | 1,1 | 0 | - | - | - |
| 3 – EPI x 100 | 7,4 abc (24,8) | 4,4 | 46 | 5,5 ab (10,9) | 4,4 | 46 | 4,3 b (17,8) | 3,2 | 23 | - | - | - |
| 4 – MUF x 100 | 8,5 abc (20,6) | 6,4 | 52 | 6,2 a (7,4) | 5,7 | 76 | 4,4 ab (15,0) | 3,9 | 18 | 4,5 a (11,9) | 3,9 | 14 |
| 5 – PVA D3 x 120 | 7,4 abc (21,7) | 5,7 | 45 | 2,6 de (18,9) | 2,5 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 6 – PVA D4 x 120 | 7,2 abc (24,9) | 3,6 | 15 | 2,4 de (21,1) | 2,2 | 0 | 1,4 de (28,3) | 1,4 | 0 | - | - | - |
| 7 – EPI x 120 | 9,2 a (22,5) | 6,4 | 67 | 5,3 ab (13,35) | 4,7 | 46 | 4,8 ab (9,1) | 3,2 | 23 | - | - | - |
| 8 – MUF x 120 | 7,9 abc (15,9) | 6,4 | 46 | 5,5 ab (9,2) | 5,0 | 27 | 4,5 ab (10,2) | 4,1 | 12 | 4,6 a (9,9) | 4,3 | 23 |
| 9 – PVA D3 x 140 | 6,5 bc (25,8) | 5,7 | 39 | 2,5 de (27,9) | 2,4 | 1 | - | - | - | - | - | - |
| 10 – PVA D4 x 140 | 8,8 ab (25,7) | 6,4 | 51 | 3,6 c (19,0) | 2,6 | 2 | 2,1 cd (41,1) | 1,7 | 0 | - | - | - |

Continua...

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------------------------|-----|----|------------------|-----|----|------------------|-----|----|-----------------|-----|----|
| 11 – EPI x 140 | 7,8 abc (14,4) | 7,0 | 80 | 5,2 ab (16,8) | 4,7 | 27 | 4,1 b (17,6) | 3,4 | 12 | - | - | - |
| 12 – MUF x 140 | 9,2 ab (11,4) | 7,8 | 64 | 5,8 ab (9,8) | 5,3 | 40 | 4,8 ab (10,2) | 4,5 | 16 | 4,6 a (7,3) | 4,3 | 38 |
| 13 – PVA D3 x 160 | 6,0 c (32,8) | 6,0 | 34 | 2,0 e (29,8) | 2,2 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 14 – PVA D4 x 160 | 8,2 abc (21,2) | 6,5 | 32 | 3,3 cd (15,7) | 2,6 | 1 | 2,4 c (18,3) | 2,3 | 0 | - | - | - |
| 15 – EPI x 160 | 8,2 abc (14,8) | 6,6 | 72 | 5,0 b (14,0) | 4,8 | 23 | 4,2 b (18,1) | 3,5 | - | - | - | - |
| 16 – MUF x 160 | 7,7 abc (16,1) | 7,2 | 41 | 6,2 a (8,1) | 6,0 | 34 | 5,3 a (10,6) | 4,9 | 29 | 5,0 a (15,2) | 4,5 | 20 |
| 17 – PVA D3 x 180 | 7,1 abc (21,9) | 5,0 | 52 | 2,1 e (27,4) | 2,5 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| 18 – PVA D4 x 180 | 8,3 ab (22,5) | 6,2 | 55 | 2,6 de (44,2) | 2,5 | 1 | 2,4 c (37,3) | 2,5 | 1 | - | - | - |
| 19 – EPI x 180 | 8,3 abc (8,1) | 7,5 | 73 | 5,1 ab (7,8) | 5,0 | 31 | 3,9 b (16,8) | 3,7 | 18 | - | - | - |
| 20 – MUF x 180 | 8,5 abc (19,71) | 7,5 | 44 | 5,4 ab (10,8) | 5,9 | 52 | 4,7 ab (10,8) | 4,8 | 48 | 4,8 a (8,9) | 4,6 | 39 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses nas colunas RC se referem ao coeficiente de variação das amostras. Os valores em negrito se referem ao maior e ao menor valor geral obtido. RC: Resistência ao cisalhamento; 5°P.: 5° Percentil superior.

Os tratamentos que apresentaram os maiores valores de resistência ao cisalhamento foram o EPI com gramatura 120 g/m² (9,2 MPa), e o tratamento com o adesivo MUF e gramatura de 140 g/m² (9,2 MPa). Dentre todos os tratamentos, o tratamento PVA D4 com gramatura de 100 g/m² (1,2 MPa) foi o que apresentou o menor valor geral de resistência ao cisalhamento. Foram constatadas diferenças estatísticas.

Os tratamentos que apresentaram os maiores valores de resistência ao cisalhamento para os ensaios em condição seca foram o 7 (9,2 MPa), e o tratamento 12 (9,2 MPa). Por outro lado, o tratamento que apresentou o menor resultado para essa mesma condição foi o tratamento de PVA D3 com gramatura de 140 g/m² (6,0 MPa). Foram constatadas diferenças estatísticas. Em relação aos pré-requisitos da norma, todos os tratamentos alcançaram o valor mínimo de 2,5 MPa.

Para os ensaios em água-fria, os tratamentos que apresentaram os maiores valores absolutos de resistência foram o 4 e o 16, ambos com 6,2 MPa. Em contrapartida, o tratamento que apresentou o menor resultado para esse mesmo pré-tratamento foi o tratamento 13 (2,0 MPa). As diferenças estatísticas também foram constatadas nessa etapa. Em relação ao atendimento da norma 13353:2003, os tratamentos considerados reprovados foram: o PVA D3 com gramatura de 100 g/m² (2,1 MPa), o PVA D4 com gramatura de 100 g/m² (2,0 MPa), o PVA D4 com gramatura de 120 g/m² (2,2 MPa), o PVA D3 com gramatura de 140 g/m² (2,4 MPa) e o PVA D3 com gramatura de 160 g/m² (2,2 MPa), o restante foi alcançou o requisito mínimo.

O tratamento que apresentou o melhor resultado de resistência ao cisalhamento para o ensaio em condição de fervura foi o MUF com gramatura de 160 g/m² (5,3 MPa) e o tratamento que apresentou o resultado menos expressivo para essa mesma condição foi o tratamento com o PVA D4 e gramatura de 100 g/m² (1,2 MPa). Foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Os únicos tratamentos que não atingiram o valor de 5º percentil superior estabelecido pela norma foram: o tratamento com o PVA D4 e gramatura de 100 g/m² (1,2 MPa), o PVA D4 com gramatura de 120 g/m² (1,4 MPa), o PVA D4 e gramatura de 140 g/m² (1,7 MPa) e o PVA D4 e gramatura de 160 g/m² (2,3 MPa), os demais apresentaram valores superior a 2,5 MPa.

No que tange o ensaio de ciclo, os resultados de resistência ao cisalhamento foram muito semelhantes, sendo que o maior resultado foi para o tratamento MUF e gramatura de 160 g/m² (5,0 MPa) e o menor resultado foi para o tratamento com PVA D3 e gramatura de 120 g/m² (4,5 MPa). Esse foi o único pré-tratamento que não apresentou diferenças estatísticas significativas. Possivelmente, esse resultado se deve ao fato de somente a resina MUF apresentar a necessidade de se realizar o ensaio de ciclo, então as amostras se comportaram de forma similar, pois a resina utilizada possuía as mesmas características, não houve grande variação entre os valores, além de que a gramatura parece não ter exercido influência sobre a linha de cola. Todas as amostras deste pré-tratamento foram aprovadas segundo o requisito mínimo de 2,5 MPa.

Em relação ao trabalho de Iwakiri et al. (2015b), o tratamento que apresentou o maior resultado de resistência ao cisalhamento, de 8,1 MPa, foi a *Cryptomeria japonica* combinada com o adesivo EPI na gramatura de 200 g/m², no entanto, o presente estudo apresentou resultados superiores utilizando o mesmo adesivo e uma gramatura menor, de 120 g/m².

6.5.4.2 Efeito do adesivo

Os resultados médios para o efeito do adesivo sobre a qualidade de colagem lateral estão apresentados na Tabela 23.

TABELA 23 - RESULTADOS MÉDIOS DO EFEITO DO ADESIVO SOBRE A QUALIDADE DE COLAGEM LATERAL DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.

| Adesivo | Seco | | | Água fria | | | Fervura | | | Ciclo | | |
|---------|-----------------|-------------|--------|-----------------|-------------|--------|-----------------|-------------|--------|--------------|-------------|--------|
| | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | F. (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | F. (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | F. (%) | RC (MPa) | 5° P. (MPa) | F. (%) |
| PVA D3 | 6,8 b (15,9) | 3,5 | 42 | 2,2 d (29,3) | 2,0 | 0 | - | - | - | - | - | - |
| PVA D4 | 7,3 a (47,5) | 4,1 | 34 | 3,0 c (28,4) | 2,2 | 1 | 1,8 c (44,7) | 1,3 | 15 | - | - | - |
| EPI | 8,0 a (15,4) | 6,3 | 67 | 5,2 b (12,9) | 4,6 | 35 | 4,2 b (17,3) | 3,4 | 8 | - | - | - |
| MUF | 8,1 a (15,0) | 6,5 | 48 | 5,8 a (10,4) | 5,7 | 46 | 4,8 a (12,4) | 4,3 | 13 | 4,7 (0,6) | 4,3 | 28 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

RC: Resistência ao cisalhamento; 5°P.: 5° Percentil superior; F.: Falha na madeira.

O melhor resultado de resistência em valores absolutos, porém estatisticamente iguais, na condição seca foi obtido a partir da resina MUF com um valor de 8,1 MPa. Já o menor resultado foi encontrado a partir da colagem com o adesivo PVA D3 com 6,8 MPa. Foram constatadas diferenças significativas entre os diferentes tipos de adesivos, sendo que os adesivos PVA D4, EPI e MUF apresentaram-se estatisticamente iguais entre si. Para esse pré-tratamento, todos os adesivos atingiram o requisito mínimo para o 5° percentil superior, de 2,5 MPa. Assim como para o requisito de falha, no qual todos os corpos de prova apresentaram falha superior a 30%.

Para o ensaio de água-fria foram encontradas diferenças estatísticas entre os adesivos, sendo que o adesivo MUF apresentou o melhor resultado (5,8 MPa) e o PVA D3 o menor (2,2 MPa). Apenas os adesivos EPI e MUF atingiram o requisito mínimo de 5°percentil estabelecido pela norma, e estes foram os mesmo que atingiram o percentual mínimo de falhas na madeira.

O ensaio de fervura também apresentou diferenças estatísticas significativas, sendo que o maior resultado foi obtido a partir da MUF (4,8 MPa) e o menor a partir do adesivo PVA D4 (1,8 MPa). Somente o adesivo PVA D4 não atingiu o valor mínimo de 5°percentil, as falhas na madeira encontradas foram abaixo de 20%.

Para o pré-tratamento de ciclo, o único produto ensaiado foi a MUF, em função desse fato não foi possível compará-lo com os demais. Apesar disso, a MUF

atingiu o pré requisito estabelecido pela norma EN 13353:2003, inclusive para o requisito mínimo de percentual de falhas.

De acordo com os estudos de Lopes et al. (2013), o adesivo PVA com a gramatura de 200 g/m², ensaiado seco com madeira de *Pinus taeda*, apresentou valores compatíveis com o PVA D4 utilizado neste estudo, o qual foi de 7,2 MPa, valor um pouco inferior ao obtido com a *Cryptomeria japonica*.

No que concerne o pré-tratamento em estado úmido com o adesivo PVA e gramatura de 200 g/m², a *Cryptomeria japonica* apresentou valor superior ao *Pinus taeda* ensaiado por Lopes et al. (2013), o qual obteve resultado médio de 1,5 MPa. Em comparação com os valores encontrados por Prata (2010), a *Cryptomeria japonica* colada com PVA D3 e D4 apresentou valores superiores ao *Pinus taeda*, *Pinus tecunumanii*, *Pinus oocarpa*, *Pinus maximinoii*, *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Pinus chiapensis*, com os respectivos valores de 1,4 MPa; 1,6 MPa; 1,3 MPa; 1,9 MPa; 1,7 MPa e 2,1 MPa.

De acordo com estudos de Motta et al. (2014), realizados com PVA D3 e D4 e madeira de *Tectona grandis*, tais autores obtiveram como resultado os valores de 12,4 MPa para o adesivo PVA D3 e 13,3 MPa para o adesivo PVA D4, ambos superiores aos valores encontrados para a *Cryptomeria japonica*, provavelmente devido ao fato de a massa específica da teca ser superior à *Cryptomeria japonica*.

Em trabalho realizado com *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus grandis*, adesivo PVA e gramaturas de 160 a 200 g/m², Alves (2012) encontrou valores entre 10 e 14 MPa no ensaio em condição seca.

Serpa et al. (2003), avaliando a colagem da madeira das espécies *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* em diferentes posições radiais (medula e casca) com adesivo PVA obteve valores médios de 10,9 MPa, 11,7 MPa e 8,0 MPa, respectivamente para amostras retiradas próximo a medula e para a localização próxima a casca, os resultados médios foram de 10,6 MPa, 10,9 MPa e 7,4 MPa. Ambos os resultados nas posições radiais apresentaram valores bem superiores à *Cryptomeria japonica*.

Iwakiri et al. (2013) estudaram as juntas coladas de *Eucalyptus benthamii*, utilizando os adesivos PVA e a resorcina-fenol-formaldeído (RFF) com as gramaturas de 200 g/m² e 400 g/m², respectivamente, e obtiveram os maiores resultados médios de resistência para o adesivo PVA (9,04 MPa), maiores inclusive que os resultados encontrados no presente estudo.

Altinor e Ozkaya (2009) utilizaram o adesivo PVA para a colagem de *Abies bornmülleriana* Mattf. e *Pinus brutia*, a primeira espécie citada possui massa específica (0,40 g/cm³) semelhante a *Cryptomeria japonica* e a segunda espécie possui a massa específica um pouco superior (0,53 g/cm³), e os resultados médios obtidos se encontraram entre 3,4 e 4,8 MPa, sendo esses valores inferiores à *Cryptomeria japonica*.

Motta, Oliveira e Alves (2012) estudaram juntas coladas de clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com adesivo PVA e gramatura de 300 g/m², e obtiveram resultados superiores a *Cryptomeria japonica*, entre 10 a 13 MPa.

A *Cryptomeria japonica* apresentou valores absolutos superiores ao *Pinus taeda* estudado por Lopes et al. (2013) para o adesivo EPI, o qual obteve um valor de 7,6 MPa. A *Cryptomeria japonica* possui uma massa específica semelhante ao *Pinus taeda*, contudo, ela apresentou uma resistência superior, porque possivelmente o adesivo também apresente uma resistência superior ao utilizado por Lopes et al. (2013).

Para a condição úmida, Lopes et al. (2013) relataram que o *Pinus taeda* colado com adesivo EPI apresentou os valores de 3,5 MPa para a orientação radial e 2,9 MPa para a orientação tangencial, ambos inferiores a *Cryptomeria japonica*.

6.5.4.3 Efeito da gramatura sobre a qualidade de colagem lateral por adesivo

6.5.4.3.1 Efeito da gramatura do adesivo PVA D3 sobre a resistência ao cisalhamento

Na Tabela 24 são apresentados os resultados médios relacionados à resistência ao cisalhamento utilizando o adesivo PVA D3, dois pré-tratamentos e cinco gramaturas.

TABELA 24 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO PVA D3 EM DIFERENTES GRAMATURAS.

| Gramatura (g/m ²) | Seco | | | Água fria | | |
|----------------------------------|-----------------------|--------------|----------------------|-----------------------|--------------|----------------------|
| | Cisalhamento (MPa) | Falha (%) | 5ºpercentil (MPa) | Cisalhamento (MPa) | Falha (%) | 5ºpercentil (MPa) |
| 100 | 6,4 a (19,8) | 51 | 2,7 | 2,0 a (37,6) | 0 | 2,1 |
| 120 | 6,7 a (7,6) | 48 | 5,7 | 2,2 a (15,8) | 0 | 2,5 |
| 140 | 6,7 a (10,3) | 57 | 5,7 | 2,3 a (22,8) | 0 | 2,4 |
| 160 | 6,7 a (18,8) | 30 | 6,0 | 2,4 a (30,9) | 0 | 2,2 |
| 180 | 7,3 a (16,0) | 49 | 5,0 | 2,4 a (63,4) | 0 | 2,5 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

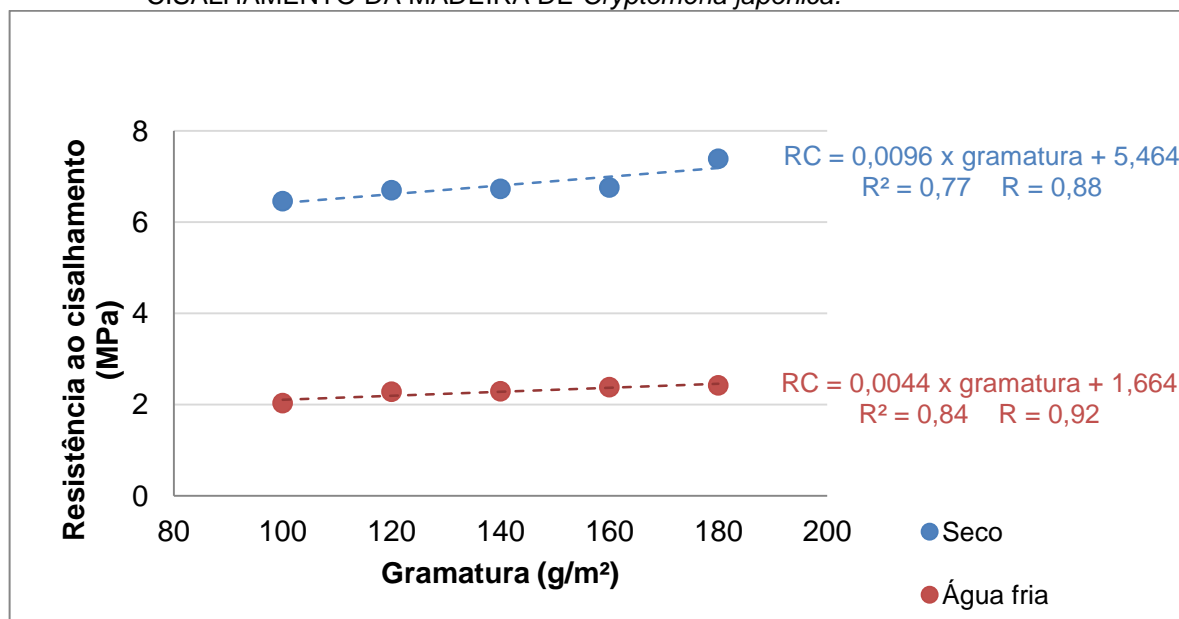
Para o pré-tratamento em condição seca, a gramatura que apresentou o maior resultado de resistência ao cisalhamento para o adesivo PVA D3, foi a gramatura de 180 g/m² (7,3 MPa) e o menor resultado encontrado foi para 100 g/m² (6,4 MPa). As falhas obtidas foram acima de 30% de falha da madeira. Não foram constatadas diferenças estatísticas significativas. Em relação a norma EN 13353:2003 todas as gramaturas foram aprovadas, atingindo o requisito mínimo.

Para o ensaio em água-fria, as gramaturas que apresentaram os maiores resultados médios de resistência ao cisalhamento foram 160 e 180 g/m² com 2,4 MPa para ambas as gramaturas. Por outro lado, o menor valor encontrado para a resistência foi para a gramatura de 100 g/m² com 2,0 MPa. Para todas as gramaturas a falha na madeira foi de 0%, o que significa que a madeira apresentou resistência superior ao adesivo. Para esse pré-tratamento também não foram constatadas diferenças estatísticas significativas. Somente as gramaturas de 100 e 160 g/m² não atingiram o requisito mínimo estabelecido pela norma 13353:2003, para a gramatura de 160 g/m² é possível que tenha ocorrido escorrimento do adesivo não otimizando sua capacidade de suportar carga.

Iwakiri et al. (2015b) relataram ser possível utilizar uma gramatura menor sem influenciar na resistência das juntas coladas, bem como foi possível notar no atual experimento, visto que as gramaturas não apresentaram diferenças estatísticas significativas entre si.

O Gráfico 3 demonstra o efeito das diferentes gramaturas utilizadas sobre a resistência ao cisalhamento para o adesivo PVA D3, nos pré-tratamentos seco e em água fria. Foram obtidos coeficientes de correlação de 88% ($R^2 = 0,77$) para o ensaio a seco e 92% ($R^2 = 0,84$) para o ensaio de imersão em água fria, onde esses valores demonstram que houve alta correlação entre as duas variáveis, podendo-se maximizar a colagem com base em uma resistência desejada.

GRÁFICO 3 – INFLUENCIA DA GRAMATURA DO ADESIVO PVA D3 SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



Sendo RC = Valores resultantes da resistência ao cisalhamento; R^2 = coeficiente de determinação; R = coeficiente de correlação.

6.5.4.3.2 Efeito da gramatura do adesivo PVA D4 sobre a resistência ao cisalhamento

Na Tabela 25 são apresentados os resultados médios de resistência ao cisalhamento das juntas coladas com o adesivo PVA D4, nas diferentes gramaturas e de acordo com diferentes pré-tratamentos sugeridos pela norma (seco, água fria e fervura).

TABELA 25 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO PVA D4 EM DIFERENTES GRAMATURAS.

| Gram. ¹ (g/m ²) | Seco | | | Água fria | | | Fervura | | |
|---|----------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|----------------------------|--------------|-----------------------------|
| | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°P. ³ (MPa) | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5° P. ³ (MPa) | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5° P. ³ (MPa) |
| 100 | 5,4 b (57,0) | 14 | 2,7 | 2,1 a (61,5) | 0 | 2,0 | 1,2 c (48,6) | 0 | 1,1 |
| 120 | 5,9 ab (50,3) | 15 | 3,6 | 2,2 a (29,3) | 0 | 2,2 | 1,4 bc (28,3) | 0 | 1,4 |
| 140 | 8,0 ab (34,0) | 46 | 6,4 | 3,0 a (29,7) | 1 | 2,6 | 2,1 ab (41,1) | 0 | 1,7 |
| 160 | 8,1 ab (34,0) | 29 | 6,5 | 2,5 a (44,5) | 1 | 2,6 | 2,4 a (18,3) | 0 | 2,3 |
| 180 | 8,3 a (41,2) | 41 | 6,3 | 2,6 a (44,1) | 2 | 2,5 | 2,5 a (47,3) | 0 | 2,6 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

¹Gramatura; ²Resistência ao cisalhamento; ³5° percentil.

Para o pré-tratamento em condição seca, a gramatura que apresentou o maior resultado médio de resistência ao cisalhamento foi a 180 g/m² (8,3 MPa) e o menor resultado médio foi para a gramatura de 100 g/m² (5,4 MPa). Foram encontradas diferenças estatísticas significativas entre as gramaturas. Segundo a norma 13353:2003, todas as gramaturas atingiram o requisito mínimo de 2,5 MPa.

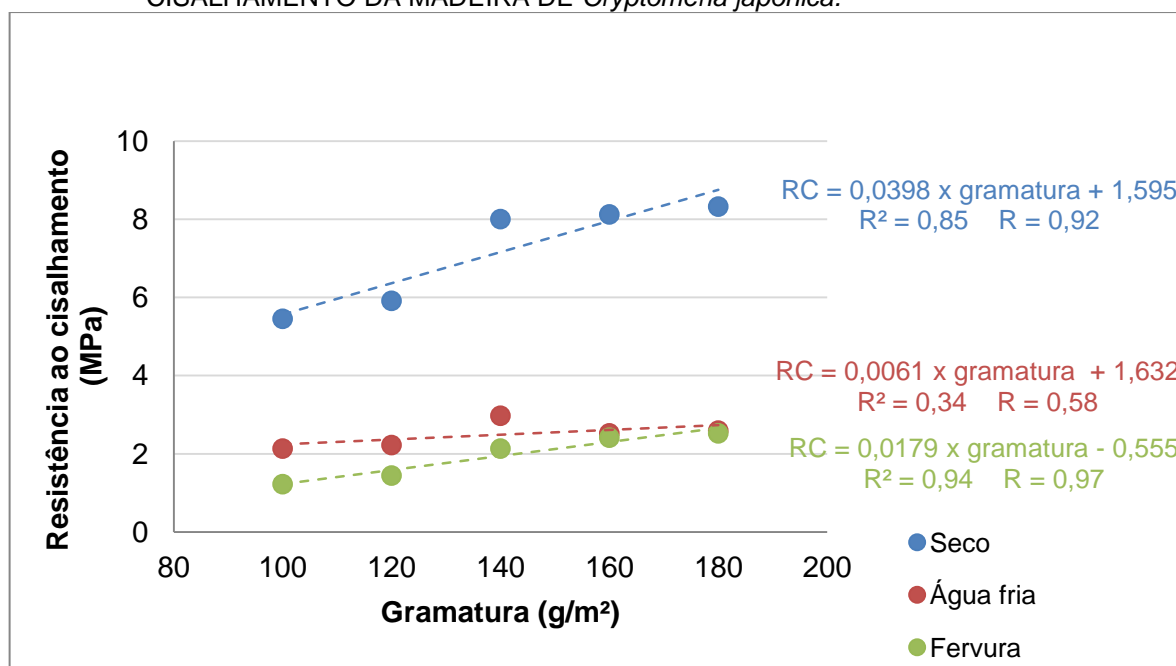
Em relação ao ensaio realizado em condição de água-fria, a gramatura que ressaltou o maior resultado de resistência ao cisalhamento foi a 180 g/m² (2,6 MPa), e o menor valor médio de resistência ao cisalhamento ocorreu na gramatura de 100 g/m² (2,1 MPa). Para essa condição de ensaio não foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Somente as gramaturas de 100 e 120 g/m² não atingiram o requisito mínimo estabelecido pela norma 13353:2003.

Para o ensaio de fervura, a gramatura que resultou na maior resistência ao cisalhamento foi a 180 g/m² (2,5 MPa) e o menor valor médio de resistência foi para a gramatura de 100 g/m² (1,2 MPa). Para essa condição de ensaio foram encontradas diferenças estatísticas significativas. Somente a gramatura de 180 g/m² atingiu o requisito mínimo estabelecido pela norma 13353:2003.

Os valores obtidos neste estudo foram inferiores aos valores encontrados por Iwakiri et al. (2015b) os quais utilizaram a madeira de *Cryptomeria japonica* e encontraram valores de 5º percentil de 6,34 e 6,35 MPa para as gramaturas de 150 e 200 g/m², respectivamente.

O Gráfico 4 demonstra a correlação entre a gramatura utilizada e a resistência ao cisalhamento, para o adesivo PVA D3, para o pré-tratamento a seco, em água fria e em fervura, cujos coeficientes de correlação foram de 92% ($R^2 = 0,85$) para o ensaio a seco, 58% ($R^2 = 0,34$) para o ensaio de imersão em água fria e 97% ($R^2 = 0,94$) para o ensaio de fervura. Para esse adesivo, obtiveram-se altos coeficientes de correlação, o pré-tratamento que apresentou o menor coeficiente, mas ainda assim um coeficiente considerado elevado, foi o ensaio em água-fria, pois provavelmente existem outras variáveis que exerçam maior influência.

GRÁFICO 4 - INFLUENCIA DA GRAMATURA DO ADESIVO PVA D4 SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



Sendo RC = Valores resultantes da resistência ao cisalhamento; R^2 = coeficiente de determinação; R = coeficiente de correlação.

6.5.4.3.3 Efeito da gramatura do adesivo EPI sobre a resistência ao cisalhamento

Na Tabela 26 são apresentados os resultados médios de resistência ao cisalhamento utilizando o adesivo EPI, três pré-tratamentos estabelecidos pela norma (seco, água fria e fervura) e cinco gramaturas diferentes.

TABELA 26 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO EPI UTILIZANDO CINCO GRAMATURAS E DOIS PRÉ-TRATAMENTOS.

| Gram. ¹ (g/m ²) | Seco | | | Água fria | | | Fervura | | |
|---|----------------------------|--------------|------------------------------|-----------------|--------------|-----------------|-----------------|--------------|-----------------|
| | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°per. ³ (MPa) | Cis. (MPa) | Falha (%) | 5°per. (MPa) | Cis. (MPa) | Falha (%) | 5°per. (MPa) |
| 100 | 7,4 a (24,8) | 51 | 4,4 | 5,2 a (10,0) | 0 | 4,4 | 4,0 a (16,7) | 23 | 3,2 |
| 120 | 7,9 a (17,5) | 45 | 6,4 | 5,2 a (9,6) | 0 | 4,7 | 4,0 a (11,9) | 23 | 3,2 |
| 140 | 8,0 a (9,6) | 64 | 7,0 | 5,3 a (15,2) | 1 | 4,7 | 4,1 a (17,6) | 12 | 3,4 |
| 160 | 8,2 a (14,8) | 40 | 6,6 | 5,2 a (15,9) | 1 | 4,8 | 4,2 a (18,1) | 23 | 3,5 |
| 180 | 8,5 a (8,1) | 44 | 7,5 | 5,3 a (3,9) | 1 | 5,0 | 4,2 a (9,1) | 18 | 3,7 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

¹Gramatura; ²Resistência ao cisalhamento; ³5° percentil.

Para o adesivo EPI na condição seca, o melhor resultado médio de resistência ao cisalhamento foi para a gramatura de 180 g/m² (8,5 MPa), já o menor resultado foi obtido a partir da gramatura 100 g/m² (7,4 MPa). Não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre gramaturas. Em comparação dos resultados do 5° percentil com os requisitos mínimos estabelecidos pela norma, todas as gramaturas apresentaram valor superior a 2,5 MPa.

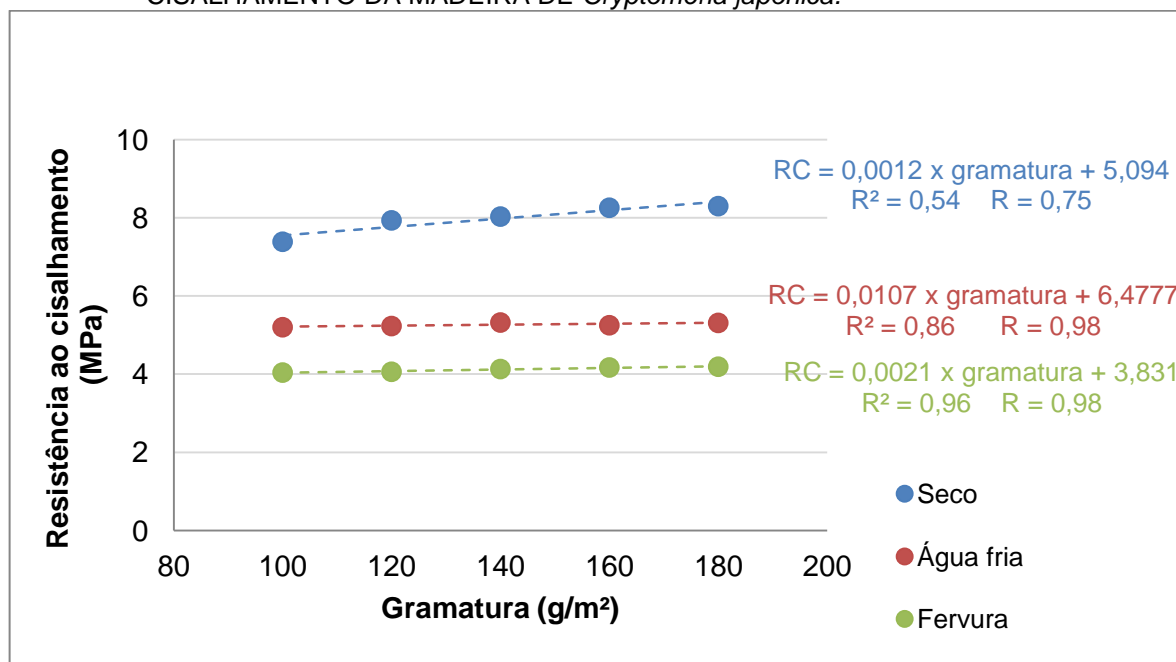
Em relação ao pré-tratamento de água fria, o maior resultado médio encontrado para a resistência ao cisalhamento foi para a gramatura de 140 e de 180 g/m² (5,3 MPa para ambas as gramaturas). O menor resultado médio foi de 5,2 MPa, obtido para todas as demais gramaturas. Não foram constatadas diferenças estatísticas significativas para esta condição de ensaio. Nesse caso, todas as gramaturas alcançaram o valor mínimo para o 5° percentil estabelecido pela norma.

No que tange ao ensaio de fervura, os maiores resultados de resistência ao cisalhamento foram obtidos para as gramaturas de 160 e 180 g/m², de 4,2 MPa para ambas, e o menor valor encontrado foi de 4,0 MPa para as gramaturas de 100 e 120 g/m². Nesta condição de ensaio não foram constatadas diferenças estatísticas significativas entre as gramaturas. Para esse pré-tratamento, todas as gramaturas também atingiram o valor mínimo de 2,5 MPa estabelecido pela norma.

Em relação à outras pesquisas, Iwakiri et al. (2015b) utilizaram a madeira de *Cryptomeria japonica* e encontraram valores semelhantes aos valores obtidos neste estudo, os quais foram 5,9 e 7,5 MPa para as gramaturas 150 e 200 g/m², respectivamente.

O Gráfico 5 demonstra a correlação entre a gramatura utilizada e a resistência ao cisalhamento para o adesivo EPI, para o pré-tratamento a seco, em água fria e em fervura, o qual encontrou coeficientes de correlação de 75% ($R^2 = 0,54$) para o ensaio a seco, de 98% ($R^2 = 0,86$) para o ensaio de imersão em água fria e de 98% ($R^2 = 0,96$) para o ensaio de fervura.

GRÁFICO 5 - INFLUENCIA DA GRAMATURA DO ADESIVO EPI SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



Sendo RC = Valores resultantes da resistência ao cisalhamento; R^2 = coeficiente de determinação; R = coeficiente de correlação.

Dentre os três pré-tratamentos, as condições de ensaio úmida e de fervura apresentaram os melhores coeficientes de determinação.

6.5.4.3.4 Efeito da gramatura da resina MUF sobre a resistência ao cisalhamento

Na Tabela 27 são apresentados os resultados médios de resistência ao cisalhamento utilizando o adesivo MUF, quatro pré-tratamentos descritos na norma (seco, água fria, fervura e ciclo) e cinco gramaturas diferentes.

TABELA 27 - RESULTADOS MÉDIOS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DO ADESIVO MUF UTILIZANDO CINCO GRAMATURAS E DOIS PRÉ-TRATAMENTOS.

| Gram. ¹ (g/m ²) | Seco | | | Água fria | | | Fervura | | | Ciclo | | |
|---|----------------------------|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------|----------------------------|--------------|------------------------------|
| | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°per. ³ (MPa) | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°per. ³ (MPa) | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°per. ³ (MPa) | Cis. ² (MPa) | Falha (%) | 5°per. ³ (MPa) |
| 100 | 7,9 a (18,2) | 51 | 6,4 | 5,5 a (6,1) | 76 | 5,7 | 4,3 b (15,0) | 46 | 3,9 | 4,3 a (18,4) | 14 | 3,9 |
| 120 | 7,7 a (18,2) | 45 | 6,4 | 5,4 a (13,7) | 27 | 5,0 | 4,6 ab (13,2) | 46 | 4,1 | 4,6 a (9,9) | 23 | 4,3 |
| 140 | 8,0 a (3,3) | 64 | 7,8 | 5,8 a (9,8) | 40 | 5,3 | 4,7 ab (9,1) | 27 | 4,5 | 4,6 a (6,8) | 38 | 4,3 |
| 160 | 8,1 a (3,2) | 40 | 7,2 | 6,4 a (11,6) | 34 | 6,0 | 5,2 a (10,2) | 23 | 4,9 | 4,7 a (13,2) | 20 | 4,5 |
| 180 | 8,5 a (19,7) | 44 | 7,5 | 6,5 a (28,1) | 52 | 5,9 | 4,7 ab (10,7) | 31 | 4,8 | 4,8 a (8,9) | 39 | 4,6 |

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de *Tukey* a 95% de probabilidade. Os valores entre parênteses se referem ao coeficiente de variação das amostras.

¹Gramatura; ²Resistência ao cisalhamento; ³5° percentil.

Para o ensaio na condição seca com a resina MUF, a gramatura que apresentou o melhor resultado médio de resistência ao cisalhamento foi a de 180 g/m² com 8,5 MPa, e a gramatura que apresentou o menor resultado foi a gramatura de 120 g/m² (7,7 MPa). Não foram constatadas diferenças estatísticas significativas. Segundo a norma 13353:2003, todas as gramaturas atingiram o requisito mínimo de 2,5 MPa.

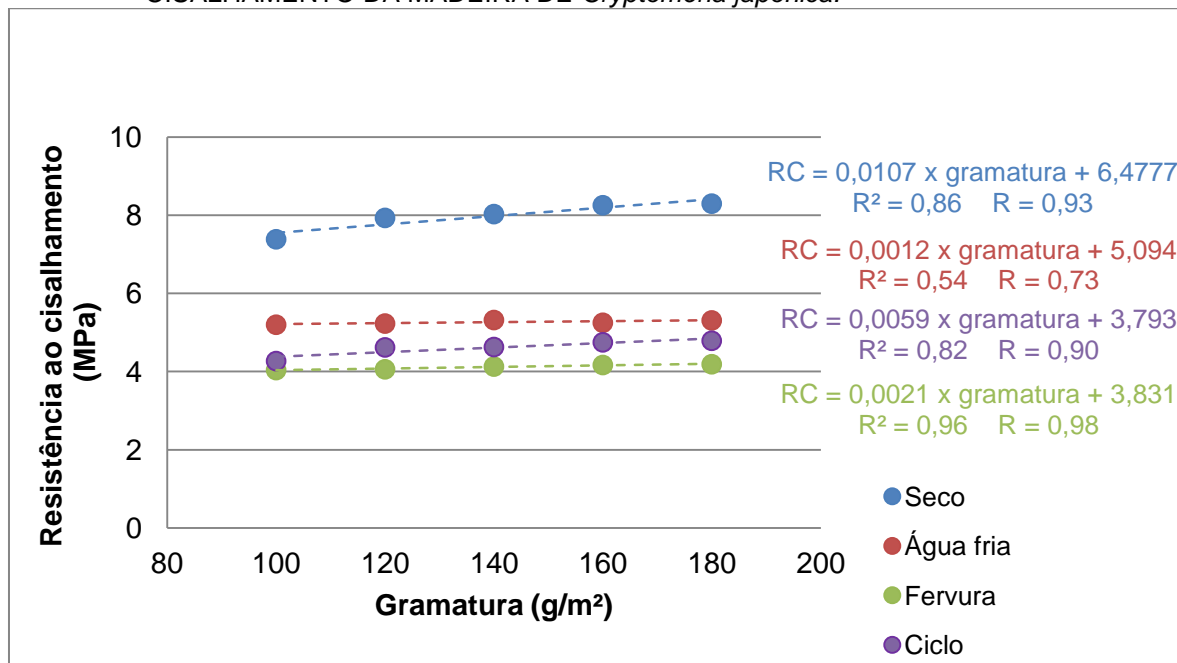
No que concerne o pré-tratamento de água fria, a gramatura que apresentou o maior valor de resistência foi a de 180 g/m² (6,5 MPa) e a gramatura que apresentou o menor valor foi a de 120 g/m² (5,4 MPa). Não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas entre as gramaturas. Em relação ao valor mínimo de 5º percentil estabelecido pela norma, todas as gramaturas alcançaram o valor mínimo.

Para o ensaio de fervura, a gramatura que apresentou o maior resultado de resistência ao cisalhamento foi 160 g/m² (5,2 MPa), e o menor valor foi para 100 g/m² (4,3 MPa). Foram constatadas diferenças significativas entre as gramaturas. Para essa condição de ensaio, todas as gramaturas atingiram o valor mínimo de 2,5 MPa para o 5º percentil.

Por fim, para o ensaio de ciclo de fervura, a gramatura que apresentou o melhor resultado de resistência foi a 180 g/m² (4,8 MPa) e o menor valor obtido foi de 4,3 MPa para a gramatura de 100 g/m². Não foram encontradas diferenças estatísticas para esta condição. Entretanto, todas as gramaturas atingiram o valor mínimo de 2,5 MPa estabelecido para o 5º percentil.

O Gráfico 6 demonstra a correlação entre a gramatura utilizada e resistência ao cisalhamento, para o adesivo MUF, para o pré-tratamento a seco, em água fria, em fervura e em ciclo, o qual encontrou coeficientes de correlação de 93% ($R^2=0,86$) para o ensaio a seco, de 73% ($R^2=0,54$) para o ensaio de imersão em água fria, de 98% ($R^2=0,96$) para o ensaio de fervura e de 90% ($R^2=0,82$) para o ensaio de ciclo de fervura.

GRÁFICO 6 - INFLUENCIA DA GRAMATURA DO ADESIVO MUF SOBRE A RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA DE *Cryptomeria japonica*.



Sendo RC = Valores resultantes da resistência ao cisalhamento; R² = coeficiente de determinação; R = coeficiente de correlação.

O ensaio de fervura foi o que apresentou o maior coeficiente de determinação, portanto, demonstrando uma alta correlação entre as variáveis. Porém, os demais ensaios também apresentaram alta correlação.

6.6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste capítulo, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- A massa específica média dos sarrafos utilizados foi de 0,503 g/cm³, sendo adequada para a produção de painéis colados lateralmente, e o teor de umidade médio de 14,3 %, valor considerado compatível com o recomendado pelo fabricante para realizar a colagem.

- Todos os adesivos apresentaram propriedades compatíveis com os valores informados pelos fabricantes e similares aos relatados pela literatura, com exceção do MUF que apresentou valores diferenciados de viscosidade e teor de sólidos.

- As emendas *finger-joint* de *Cryptomeria japonica* atingiram os pré-requisitos recomendados pela norma ASTM 5572:2005 para todos os pré-tratamentos.

- Para as emendas *finger-joint*, os melhores resultados foram obtidos para o pré-tratamento a seco, seguido do ciclo triplo, e por último a alta temperatura.

- A *Cryptomeria japonica* apresentou valores de resistência da *emenda finger-joint* compatíveis ou superiores com algumas espécies de *Pinus* e bem inferiores à espécies de *Eucalyptus* e *Tectona grandis*.

- Dentre todos os tratamentos analisados na colagem lateral, os que apresentaram as maiores resistências foram o EPI com a gramatura de 120 g/m² e o MUF com a gramatura de 140 g/m².

- Em relação ao efeito do adesivo, o que apresentou a maior resistência ao cisalhamento da colagem lateral foi o MUF, e o que apresentou os menores resultados de resistência ao cisalhamento foi o PVA D3.

- Para o efeito da gramatura, observou-se que as gramaturas 140, 160 e 180 g/m² são estatisticamente iguais.

- A *Cryptomeria japonica* apresentou-se como uma espécie potencial para a produção de painéis de EGP.

- Os tratamentos que foram aprovados em todos os pré-tratamentos ensaiados foram o 3 (EPI/100 g/m²), 4 (MUF/100 g/m²), 5 (PVA D3/120 g/m²), 7 (EPI/120 g/m²), 8 (MUF/120 g/m²), 11 (EPI/140 g/m²), 12 (MUF/140 g/m²), 15 (EPI/160 g/m²), 16 (MUF/160 g/m²), 17 (PVA D3/180 g/m²), 18 (PVA D4/180 g/m²), 19 (EPI/180 g/m²), 20 (MUF/180 g/m²).

- Os adesivos EPI e MUF foram aprovados segundo os requisitos da norma 13353:2003 para todas as gramaturas.

6.7 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. C. **Avaliação do potencial de uso de resíduos de madeira tropical para produção de painéis colados lateralmente - EGP**. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

ALTINOK, M.; ÖZKAYA, K. Study of the bending resistance in a direction parallel to the fibers of edge glued panels (EWP) produced with different constructions. **Technology**, v. 12, n. 4, p. 235–243, 2009.

ALVES, P. R. G. **Resistência da linha de cola em superfícies lixadas da madeira de eucalipto**. 109 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Setor de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2012.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS- **ASTM. 5572**: Standard specification for adhesives used for finger joints in nonstructural lumber products. 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Secagem de serrados e lâminas de Madeira**. 2004. Artigo Técnico nº 27.

AZAMBUJA, M. dos A. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas**. 159 f. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia dos Materiais) - Setor de Ciências e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

BANDEL, A. **Adhesivos y Tecnología del Encolado en la Industria de la Madera**, 288f. Milano, 1991.

BILA, N. F. **Avaliação da qualidade de juntas coladas de seis espécies de madeiras tropicais da Amazônia**. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CAIXETA, R. P. **Propriedades da madeira de *Eucalyptus*: classificação e seleção de genótipos utilizando marcador molecular e análise multivariada**. 99 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Setor de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

CONTI, A. C. de. **Resistência mecânica de juntas coladas em madeira de *Eucalyptus sp.*** 103 f. Tese (Doutorado em Materiais) - Setor de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2011.

CORREIA, C. G. Técnicas de Colagem de Madeiras com Adesivos Vinílicos. **Catálogo**. Borden Química Indústria e Comércio Ltda, 1997. 68 p.

CRUZ, M. M. S. **Estudo da molhabilidade da madeira de pinho pela resina uréia-formaldeído**. 161 f. Dissertação (Mestrado em Materiais Lenhocelulósicos) - Setor de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2006.

DANAWADE, B. A.; MALAGI, R. R.; PATIL, B. S.; HANAMAPURE R.S. Effect of finger joint on flexural strength of teak wood. **International Journal of Engineering and Technology**, v. 5, n. 6, p. 4929 - 4937, 2014.

DUNKY, M.; PIZZI, T.; CRUZ, H.; GRUNWALD, D.; HEINRICH, H.; KUILEN, J. W.G. V. de; ORMSTAD, E. B.; PICHELIN, F.; PULKKINEN, P.; LINDBERG, L.S.; SCHEIKL, M.; TOMKINSON, J.; WALINDER, M. **Wood adhesion and glued products**. Working group 1: wood adhesives. Belgium: 2003. v. 1.

EUROPEAN STANDARD. **EN 19.092**: Adhesives – Determination of viscosity. Bruxelas, 2000.

EUROPEAN STANDARD. **EN 1245**: Adhesives – Adhesives of pH – Test Method. Bruxelas, 2001.

EUROPEAN STANDARD. **EN 542**: Adhesives – Determination of density. Bruxelas. 2003.

EUROPEAN STANDARD - **EN 13353** – Solid wood panels (SWP) – Requirements – 11p. Bruxelas, june 2003.

EUROPEAN STANDARD - **EN 13354** – Solid wood panels – Bonding quality – Test Method – 11p. Bruxelas, may 2003.

EUROPEAN STANDARD. **EN 827**: Adhesives – Determination of conventional solids content and mass solids. Bruxelas, 2006.

FRIHART, C. R.; HUNT, C. G. Chapter 10 - Adhesives with Wood Materials Bond Formation and Performance. **Wood Handbook - Wood as an engineering material**, n. chapter 10, p. 1 - 24, 2010.

GONÇALVES, F. G.; SEGUNDINHO, P. G. de A.; SCHAYDER, L. F.; TINTI, V. P.; SANTIAGO, S. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento da madeira de Pinus sp. coladas em temperatura ambiente. **Ciência da Madeira - RCM**, v. 7, n. 1, p. 42 - 50, 2016.

HENKEL LTDA. DORUS SL 3184 (Ex-SUPER-LOK 3184). Adesivo aquoso à base de polímeros sintéticos. Jundiaí, SP. 2010. 2p. **Boletim técnico**.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ) - **IBÁ**. Relatório Técnico. 2015.

IWAKIRI, S. (Ed.). **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S.; ANDRADE, A. S. de; CARDOSO JUNIOR, A. A.; CHIPANSKI, E. do R.; PRATA, J. G.; ADRIAZOLA, M. K. O. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, v. 11, n. 4, p. 323 - 328, 2005.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; CUNHA, A. B. da; PRATA, J. G.; HARA, M.; BILA, N. F.; LUIS, R. C. G.; ARAÚJO, R. D. de; BÔAS, B. T. V. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Eucalyptus benthamii* com diferentes adesivos e faces de colagem. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 99, p. 411 - 416, 2013.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R. NASCIMENTO, C. C. do; GUMANE, C.; LENGOWSKI, E. C.; SCHARDOSIN, F. Z.; AZAMBUJA, R. Resistência das juntas coladas de madeiras de *Inga alba* (SW) Willd e *Swartzia recurva* Poepp. **Cerne**, v. 21, n. 3, p. 457 - 463, 2015a.

IWAKIRI, S.; TRIANOSKI, R.; FRANÇA, R. F.; GONÇALVES, T. A. P.; LOIOLA, P. L.; CAMPELO, S. R. F.; FARIAS, S. M. de A. P. Avaliação da resistência de juntas coladas da madeira de *Cryptomeria japonica* e *Sequoia sempervirens* com diferentes adesivos. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 105, p. 19 - 26, 2015b.

JESUS, J. M. H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 106 f. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

JOHANSSON, C.-J.; PIZZI, T.; LEEMPUT, M. V.; AASHEIM, E.; BENGTSSON, C.; DUNKY, M.; GRUNWALD, D.; EMMER, R.; GUSTAFSSON, P. J.; GRIGORIOU, A.; HAELVOET, W.; KAIRI, M.; KÄLLANDER, B.; KRUG, D.; KOPONEN, S.; MARTIN, E. M.; NTALOS, G.; PICHELIN, F.; PULKKINEN, P.; REDINGTON, M.; RICHTER, K.; TEISCHINGER, A.; TOBISCH, S.; LINDEN, M. L. R. van der. **Wood Adhesion and Glued Products**. Working Group 2: Glued Wood Products. 2002.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de *Eucalyptus* e sua influência na colagem. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 123 - 129, 2007.

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MORI, C. L. S. de O. Colagem da madeira de clones de *Eucalyptus* com três adesivos comerciais. **Scientia Forestalis**, v. 36, n. 77, p. 73 - 77, 2008.

LOPES, M. de C. **Espectroscopia no infravermelho próximo aplicada na avaliação de painéis de madeira colados lateralmente**. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LOPES, M. DE C.; MUNIZ, G. I. B. de; MATOS, J. L. M. de; TANOBE, V. O. de A.; CHINASSO, C. A. F.; ROSSO, S. Resistência da linha de cola de painéis de *Pinus taeda* colados lateralmente com diferentes adesivos. **Cerne**, v. 19, n. 4, p. 613 - 619, 2013.

MARRA, A.A. **Technology of Wood bonding: principles and practice**. Nova York, Van N. Reinhold, 1992, 454p.

MARTINS, S. A.; SANTOS, C. M. T. dos; GONÇALEZ, J. C.; CAMARGO, J. A. A. Envelhecimento artificial acelerado por radiação ultravioleta de madeiras de *Eucalyptus benthamii* e *Pinus caribaea* var. hondurensis. **Floresta**, v. 41, p. 87–96, 2011.

MARTINS, S. A. **Adequação tecnológica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cabbage para a produção de painéis colados lateralmente**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. das. BNDES. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. Relatório Técnico. 2005.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. da S.; PAES, J. B.; ALVES, R. C.; VIDAURRE, G. B. Avaliação da resistência ao cisalhamento de juntas coladas com madeira de teca (*Tectona grandis*). **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, p. 615 - 621, 2014.

MOTTA, J. P.; OLIVEIRA, J. T. S.; ALVES, R. C. Influência do teor de umidade nas propriedades de adesão da madeira de eucalipto. **Construindo**, v. 4, n. 2, p. 9, 2012.

MURARA JUNIOR, M. I.; PERES, R. R. Avaliação de linhas de colagem de painéis EGP utilizando madeiras de *Pinus taeda* e *Tectona grandis*. **Murara**, p. 1 - 17, 2010.

NAHUZ, M. A. R. Mercado internacional sinaliza evolução. **Revista da Madeira**, n.80, p. 4, 2004.

NASCIMENTO, A. M. do; LELLIS, R. C. C.; COSTA, D. L. da; OLIVEIRA, C. da S. Comportamento de ligações adesivas em madeiras de reflorestamento. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, p. 54 – 62, 2002.

NENNEWITZ, I.; NUTSCH, W.; PESCHEL, P.; SEIFERT G. **Manual de tecnologia da madeira**. Edgard Blucher, 2ª Ed. 2012.

OLIVEIRA, M. P. de; ANDRADE, A. R. de; CAMPOS, M.; CALIL Jr, C.; CALIL NETO, C. Influência do tratamento preservativo na colagem em juntas de *finger-joint*. Remade: **Revista da madeira**. n. 116. 2008.

ÖZKAYA, K. Study of the bending modulus of elasticity of edge glued wooden panels with different width joinings. **Technology**, v. 14, n. 2, p. 67–73, 2011.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de *Pinus* tropicais para a produção de painéis colados lateralmente**. 117 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

RUY, O. F. **Variação da qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake da Ilha das Flores, Indonésia**. 69 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1998.

SELLERS JR., T. Adhesive in the Wood Industry. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. Handbook of adhesive technology. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 37.

SERPA, P. N.; VITAL, B. R.; DELLA LÚCIA, R. M.; PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus Saligna* e *Pinus Elliottii*. **Árvore**, v. 27, n. 5, p. 723 - 733, 2003.

SERRANO, L. J. P. **Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas dentadas**. 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Setor de Tecnologia de Produtos Florestais, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2009.

SILVA, R. S. **Resistência mecânica da madeira de *Eucalyptus saligna* unidas por adesivo poliuretano para diferentes acabamentos de superfície**. 102 F. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Setor de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

TIENNE, D. L. D. C.; NASCIMENTO, A. M. do; GARCIA, R. A.; SILVA, D. B. Qualidade de adesão de juntas de madeira de *Pinus* coladas em condições simuladas de serviço interna e externa. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 1, p. 16 - 29, 2011.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**. Structure, properties, utilization. 1991. 494p.

VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I.; KARASTERGIOU, S. Effect of PVAc bonding on finger-joint strenght of steamed and unsteamed beech wood. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 103, p. 1664 - 1669, 2007.

ZIMMERMAN, D. Adesivos para pisos engenheirados: da fabricação à instalação. Remade: **Revista da Madeira**. Ed. 94. 2006.

7. CONCLUSÕES GERAIS

Com base nos resultados obtidos nesta dissertação, as seguintes conclusões podem ser apresentadas:

- A madeira de *Cryptomeria japonica* apresenta massa específica baixa a média, boa estabilidade dimensional e baixo teor de extrativos e material inorgânico.

- A madeira de *C. japonica* apresentou boa usinabilidade, principalmente na região do cerne;

- A madeira de *C. japonica* apresentou bom desempenho frente ao processo de acabamento superficial, a partir de diferentes produtos.

- A madeira de *C. japonica* apresentou potencial para produção de painéis de colagem lateral, a partir de diferentes adesivos e gramaturas.

- Recomenda-se a realização de mais estudos na área de usinagem e acabamento, pois existe uma ampla quantidade de produtos no mercado e poucos estudos publicados.